

**Al-Halbouni A., Dr.-Ing. habil., Chalh-Andreas B., Dipl.-Ing.,
Hofman M., Dipl.-Ing., Rahms H., Dipl.-Ing.**

Brinkmann Industrielle Feuerungssysteme GmbH

58, Weseler St., D-46562 Voerde, Germany, e-mail: info@walter-brinkmann.com

Багатопаливні пальникові пристрої для промислового застосування

Багатопаливні пальникові системи використовуються у різних промислових процесах, на ТЕС та у металургії включно з сухим подрібненням вологих матеріалів у обертових пічах, промислових котлах, установках когенерації та спеціальних термичних технологіях. Відповідні системи мають бути придатними для використання різних видів палива та гнучко реагувати на зміни його складу та якості, зокрема необхідно враховувати стійкість займання паливної суміші та супутнє забруднення доквілля. Такі системи мають забезпечувати експлуатаційні параметри та екологічні нормативи у відповідності до германських технічних стандартів щодо якості повітря (TA Luft 2002 р.). Якість роботи цих багатопаливних систем визначається пусковими умовами (наприклад, сушіння вогнетривів, створення потрібного робочого середовища) та експлуатаційними вимогами, коливаннями цін на сировинні продукти та готові товари, а також умовами, що враховують специфіку технології, нестабільне постачання палива. Приймається до уваги також внутрішня утилізація відходів у межах виробництва. Розглянуто дві багатопаливні пальникові системи, вибрані з великої виробничої номенклатури ТОВ «Брінкман». Представлено системи комбінованого спалювання пиловугільного та газового палива, а також пиловугільного палива з рідким паливом. *Бібл. 9, рис. 6, табл. 1.*

Ключові слова: газо-вугільний пальник, комбінований рідкопаливно-вугільний пальник, забруднення атмосфери, розпилене паливо, TA Luft, потужність пальника, режим експлуатації.

УДК 621.783:662.951.2

**Пилипенко Р.А., канд. техн. наук, Пилипенко А.В.,
Логвиненко Д.М., канд. техн. наук**

Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: ig.hil-ko@ukr.net

Основные положения технологии точного нагрева в пламенных печах садового типа

Предложена технология точного нагрева крупногабаритных изделий и садов в пламенных печах, в частности, камерных термических и туннельных. Технология базируется на организации интенсивной внутренней рециркуляции греющих газов вокруг нагреваемых тел. Движение газов осуществляется по специальным рециркуляционным контурам. Геометрические и режимные параметры контура рециркуляции рассчитываются по предлагаемой методике. Основой этих контуров являются скоростные газовые горелки с предварительной подготовкой смеси газа и воздуха. Разработаны и аттестованы к применению на промышленных печах три типа скоростных горелок: ГН и ГН(Н) со специальным огнеупорным туннелем, в котором происходит полное или частичное сгорание смеси; ГНБ, обеспечивающие полное сгорание смеси в малогабаритном факеле в свободном рабочем пространстве; ГНБ-ТГ, обеспечивающие низкотемпературный скоростной поток продуктов сгорания. Технология точного нагрева успешно используется при термической обработке металла и обжиге керамических и огнеупорных изделий. *Библ. 9, рис. 5, табл. 1.*

Ключевые слова: технология нагрева, рециркуляция газов, равномерность нагрева, скоростная горелка, печь садового типа.

Технология точного нагрева изделий греющими газами в пламенных печах садового типа предполагает соблюдение режима нагрева с минимальными, $\pm (5-10)^\circ\text{C}$, отклонениями температуры поверхности от заданной текущей температуры нагрева и наличие оборудования для его реализации.

Большое значение такая технология имеет при термообработке крупногабаритных садов металла или изделий из других материалов в камерных печах периодического действия, особенно при проведении сложных, многоступенчатых режимов нагрева с длительными выдержками. Для этих печей характерны 5–10-кратные (а иногда и выше) колебания тепловой мощности. Это приводит к резкому изменению объемов греющих газов, нарушению их аэродинамики, газоплотности печи, увеличению подсосов холодного воздуха в рабочее пространство, повышению неравномерности нагрева и, как следствие, к увеличению продолжительности нагрева и выдержки, к перерасходу топлива.

Не меньшее значение технология точного нагрева имеет при нагреве садов изделий в проходных печах, например, туннельных для обжига керамики и огнеупоров. В отличие от камерной печи тепловая мощность проходной печи не меняется во времени. Греющие газы отдают свое тепло изделиям в противоточном по отношению к ним движении. Скорость движения греющих газов обычно не превышает 1,0–2,0 м/с. С остыванием газов температурный градиент по высоте рабочего канала возрастает до 250–350 $^\circ\text{C}$, а иногда и выше, особенно на низкотемпературных позициях. Такой перепад температур обусловлен не только естественным температурным расслоением потока при столь низких скоростях его движения, но и наличием в нижней части печи относительно большой холодной массы тележек, а также нерегулируемых подсосов холодного воздуха через неплотности. Все эти факторы приводят к нарушению температурного режима работы, снижению качества изделий, перерасходу топлива.

Отрицательным фактором в осуществлении технологии точного нагрева также является ручное управление газоиспользующим оборудованием и процессом.

Несмотря на разные условия работы указанных печей для них характерны общие принципы достижения высокой равномерности нагрева и экономии топлива: 1) качественное сжигание топлива в ограниченном свободном объеме рабочего пространства; 2) исключение прямого попадания пламени на изделия и получение греющей среды заданного температурного

уровня; 3) получение греющей среды с высокой равномерностью температур по объему рабочего пространства или отдельной его зоны; 4) интенсивная циркуляция греющих газов вокруг садки и через нее; 5) обеспечение газоплотности рабочего пространства печи во всем диапазоне изменения тепловой мощности и по длине рабочего канала; 6) уменьшение тепловой инерции футеровки печей и тележек; 7) утилизация тепла отходящих газов посредством нагрева воздуха на горение; 8) автоматическое управление тепловой работой печей: температурным и гидравлическим режимами их работы.

Все эти факторы тесно взаимосвязаны и каждый в отдельности в разной степени влияет на точность нагрева и экономию топлива. Например, тепловая инерция футеровок и утилизация тепла отходящих газов в большей степени влияют на расходы топлива, чем на точность нагрева. При этом газоплотность печей и уровень автоматизации имеют прямое отношение к равномерности нагрева и к экономии топлива.

Качественное сжигание газа в технологии точного нагрева предполагает его полное сгорание в ограниченном свободном объеме рабочего пространства печи с минимальным выходом продуктов неполного сгорания во всем диапазоне изменения тепловой мощности и температур. Для печей с ограниченным свободным рабочим пространством наиболее соответствующими этим требованиям являются загорелочные устройства с предварительной подготовкой смеси газа с воздухом и с повышенной до 100 м/с и более скоростью потока продуктов сгорания, так называемые «скоростные горелки». В этом случае полное сгорание смеси происходит в ограниченном свободном объеме печи и не зависит от температуры рабочего пространства, в отличие от струйных скоростных горелочных устройств так называемого «диффузионного» сгорания, в которых процесс горения совмещен с процессом смешения газа и воздуха. Скоростные горелочные устройства предварительного смешения обеспечивают получение жесткого малогабаритного факела, что уменьшает вероятность его прямого контакта с нагреваемым телом и, как следствие, исключает местный перегрев.

Для получения греющей среды с максимально равнозначными полями температур необходимо, во-первых, уменьшить влияние процесса горения на формирование температурных полей в рабочем пространстве и, во-вторых, обеспечить интенсивное перемешивание печных газов с продуктами сгорания, поступающими из горелок.

Одним из известных способов выравнивания температур в рабочем пространстве печей является интенсивная внутренняя рециркуляция греющих газов [1]. Вовлечение греющих газов в интенсивное круговое движение вокруг нагреваемых тел и их перемешивание осуществляются за счет использования одного из следующих видов энергии [2]: механической энергии вентиляторов, встроенных в ограждение печи; кинетической энергии воздушных или топливно-воздушных струй; кинетической энергии струй продуктов сгорания.

Использование механической энергии вентиляторов позволяет организовать интенсивную циркуляцию греющих газов для достижения требуемой равномерности нагрева, однако температурная область применения вентиляторов для этих целей ограничена допустимой температурой их стойкости. Широкое применение специальных жаростойких вентиляторов ограничено их высокой стоимостью и оправдано только в случаях нагрева очень дорогого материала.

При использовании кинетической энергии воздушных и топливно-воздушных струй необходимо выполнять в футеровке печи специальные подводящие и смесительные каналы, что приводит к усложнению кладки и громоздкости футеровки, увеличению потерь тепла на аккумуляцию кладкой. Такие печи для нагрева и термообработки металла работают на низкотемпературных режимах с повышенными расходами воздуха, что также приводит к перерасходам топлива.

Использование кинетической энергии струй продуктов сгорания позволяет не только организовать интенсивную рециркуляцию греющих газов, но и максимально упростить конструкцию футеровки печи и при необходимости отказаться от избыточного воздуха, что способствует уменьшению расхода топлива. Рециркуляция греющих газов вокруг нагреваемых изделий в этом случае осуществляется по контуру, геометрия которого определяется конструкцией и тепловой мощностью печи, температурным интервалом ее работы, параметрами скоростной горелки, технологическими требованиями по скорости и равномерности нагрева.

В таблице приведены показатели работы некоторых камерных термических рециркуляционных печей с выдвижным подом по равномерности нагрева и избытку воздуха в печной атмосфере при отпуске и нормализации с температурами печи $T_{II} = 873-1173 \text{ K}$ [2].

При удовлетворительных показателях по равномерности нагрева печи первого и второго типа имеют повышенные по сравнению с печами третьего типа коэффициенты избытка воздуха α , особенно на режимах выдержки.

Одним из определяющих параметров при расчете контура рециркуляции является величина кратности рециркуляции K , которая представляет собой отношение суммарной массы движущихся по контуру газов к массе газов, поступающих из горелки:

$$K = G_{\Sigma} / G_1 = (G_1 + G_2) / G_1,$$

где G_1 — масса газов (продуктов сгорания), поступающих в рабочее пространство печи из горелки, кг/с; G_2 — масса печных газов, вовлеченных в движение (инжектируемых) скоростной струей продуктов сгорания, кг/с.

Очевидно, что кратность рециркуляции зависит от скорости инжектирующей струи. Длительное время считалось, что требуемая равномерность нагрева достижима лишь при высоких, свыше 10, значениях кратности рециркуляции, следовательно, при высоких скоростях истечения продуктов сгорания из горелочного устройства. В качестве горелочного устройства рассматривались горелки с огнеупорным туннелем, сужающимся к выходу. Такие туннели работают под высоким давлением ($\geq 1,0 \text{ кПа}$) и при высоких температурах ($> 1700 \text{ K}$).

На рис.1 приведено расчетное семейство кривых зависимости относительного перепада температур $\Delta T / T_2 = (T_1 - T_2) / T_2$ между начальной температурой продуктов сгорания и температурой печных газов от кратности рециркуляции K [3]. При повышении значений кратности выше 4,0 зависимость относительного перепада температур резко падает, а затем асимптотически приближается к оси значений кратности рециркуляции. Из этого следует, что повышение энергетических затрат на увеличение кратности рециркуляции и, следовательно, давления в туннеле и скорости истечения не рационально.

Показатели работы рециркуляционных печей с выдвижным подом

№ п/п	Тип печи	Размер пода, м ²	α^*	$\pm \Delta T, \text{ }^\circ\text{C}$
1	С вентиляторами	2,5 × 6,0	1,25/3,5	6–10
2	С топливно-воздушными струями	6,4 × 38,7	1,5/3,2	10
		4,5 × 9,0	1,3/2,5	5–15
3	Со скоростными туннельными горелками	4,0 × 6,0	1,2/1,5	5–10

* В числителе — нагрев; в знаменателе — выдержка.

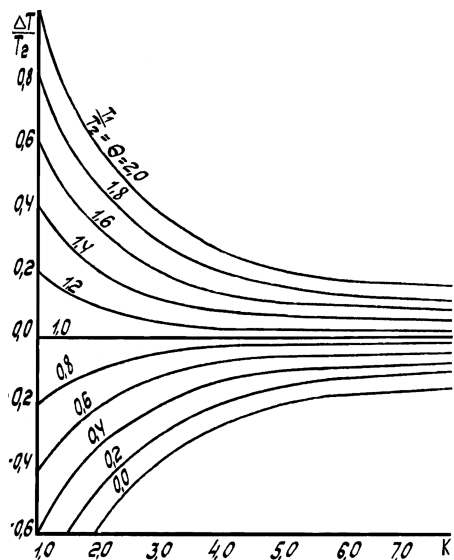


Рис.1. Зависимость относительного перепада температур в объеме греющих газов от кратности рециркуляции.

На базе скоростных горелок нами разработан контур рециркуляционного движения греющих газов вокруг садки и в пространстве между пакетами садов, рис.2 [4]. Отличительной особенностью этого контура является отсутствие специальных смесителей и каналов в стенах печи. Струя продуктов сгорания поступает в свободное рабочее пространство печи под садкой и работает в нем в качестве инжектора без дополнительных потерь энергии на преодоление сопротивлений сложной трассы встроенных каналов.

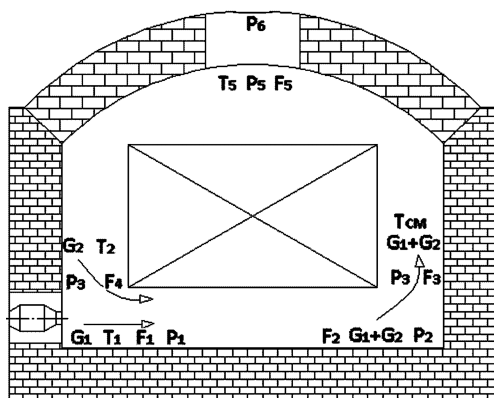


Рис.2. Схема рециркуляционного контура камерной печи. Геометрические параметры контура: F_1 – площадь сечения выходного отверстия горелки; F_2 – F_4 – площади поперечного сечения свободного пространства печи, в которых движется струя и инжектируемые ею печные газы; F_5 – площадь сечения отверстия для отвода дымовых газов. Режимные параметры контура: G_1, T_1, P_1 – количество, температура и полное давление струи продуктов сгорания на выходе из горелки; G_2, T_2, P_2 – количество, температура и давление инжектируемых газов; G_3, T_3, P_3 – параметры смеси газов; G_4, T_4, P_4 – параметры удаляемых газов; P_5 – давление среды, в которую эти газы удаляются.

Решение системы уравнений неразрывности, сохранения энергии и количества движения относительно основного параметра контура $\alpha_1 = F_2/F_1$ является громоздким и неудобным для инженерных расчетов. Однако оно позволяет сделать вывод о предпочтительности симметричности контура и равнозначности сечений F_3 и F_4 , а также оценить влияние сопротивления контура на интенсивность рециркуляции [4]. С учетом принятых допущений нами предлагается простая формула для инженерных расчетов симметричного контура рециркуляции греющих газов в свободном пространстве вокруг садки или между пакетами садов:

$$K = C [(\Theta \alpha_1)^{1/2} - \Theta],$$

где C – коэффициент, учитывающий сопротивление контура; $\Theta = T_1/T_2$.

Для значений $\alpha_1 \geq 25$ коэффициент $C \approx 0,85$, при этом погрешность расчета составляет не более 7,0 %, уменьшаясь до 1,0 % с возрастанием α_1 .

Исследуемый контур предусматривает удаление из него отработанных газов в количестве, равном поступающему из скоростной горелки. Зависимость кратности от параметра $\alpha_5 = F_2/F_5$ имеет явно выраженный максимум (рис.3), что указывает на существование оптимального значения F_5 .

На основании проведенных исследований нами получено следующее расчетное значение $\alpha_{5\text{опт}} = \Theta \alpha_1/2$. Однако с приближением α_5 к $\alpha_{5\text{опт}}$ рост кратности рециркуляции замедляется, а давление в системе резко возрастает. Исследования на огневых моделях и промышленных печах показали, что требованиям газоплотности при 10-кратном изменении тепловой мощности удовлетворяет следующее оптимальное значение параметра $F_5 : F_{5\text{опт}} \approx 4 F_1/\Theta$.

Вывод о нерациональности использования высоких, свыше 100 м/с, скоростей истечения

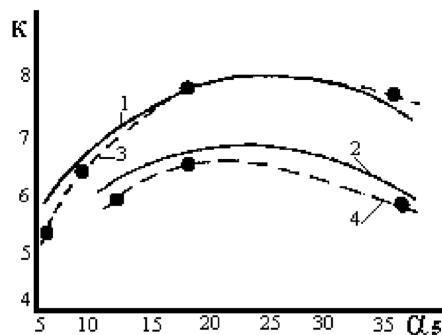


Рис.3. Зависимость кратности рециркуляции от параметра α_5 : 1, 2 – расчетные при $\alpha_1 = 33; 44, \Theta = 2$; 3, 4 – экспериментальные.

продуктов сгорания для туннельных скоростных горелок позволяет упростить и облегчить задачу конструирования скоростных горелок. Для реализации рассматриваемого контура рециркуляции греющих газов и обеспечения технологии точного, равномерного нагрева нами разработаны три типа скоростных горелок с предварительной подготовкой газозвушной смеси [5–7]: туннельные (тип ГН и ГН(Н)), различаются степенью сгорания газа в туннеле; бестуннельные (тип ГНБ); горелка-теплогенератор (тип ГНБ-ТГ).

Горелки ГН и ГН(Н) имеют сужающийся к выходу огнеупорный туннель, работают на газе среднего и низкого давления. Номинальная тепловая мощность горелок составляет 40–250 кВт. Давление воздуха перед горелкой — 2,5 кПа. Горелочный туннель выполняется из высокоглиноземистого огнеупорного материала. Температура внутри туннеля горелок ГН достигает 1700–1873 К, горелок ГН(Н) — не превышает 1600 К [5].

При исследовании аэродинамики прямооточных струй продуктов сгорания скоростных горелок в каналах нами установлено влияние скорости истечения струй и их температуры на относительный допустимый перепад температур между температурой на оси струи T_m и температурой среды T_n , в которую струя истекает [6]. Установлено, что высота подъема оси струи на расстоянии 5–10 диаметров устья горелки при 3-кратном уменьшении скорости струи составляет менее половины диаметра устья. Минимально допустимые по равномерности нагрева расстояния нагреваемого тела от начального сечения струи (устья горелки), определенные из закономерностей их течения, составляют по горизонтали $5,0 \leq X/D_1 \leq 10,0$ и по вертикали $Y/D_1 \geq 2,0$. Этот результат очень важен, так как он определяет безопасное относительно местного перегрева расстояние от устья горелки до нагреваемого тела.

На базе горелок ГН-250 и ГН(Н)-250 реализована технология точного нагрева в 4-камерных термических печах с выдвижным подом (г. Екатеринбург, РФ). Это печи одной конструкции, площадь выдвижного пода составляет $(4 \times 6) \text{ м}^2$, единовременная загрузка — 100 т, но в зависимости от комплектации масса садки колебалась от 25 до 130 т. Печи предназначены для проведения многоступенчатых режимов термообработки разных марок сталей с длительными, иногда до 72 ч, режимами выдержки. В базовом проекте печи были оснащены выносными топками с горелками ГНП-5. Затем вместо горелок ГНП-5 на печах были установлены горелки с активной топливно-воздушной струей в сочета-

нии со специальными смесительными и рециркуляционными каналами в футеровке печей. В результате равномерность нагрева несколько улучшилась, но экономические показатели работы ухудшились. При реконструкции печей скоростные горелки были установлены в два ряда по высоте печи: на уровне пода и под сводом. При достижении на поверхности садки требуемой температуры нагрева и переходе на режим выдержки верхний ряд горелок отключался, а нижние горелки работали в импульсном режиме. Геометрические параметры контура соответствовали расчетным, дымоотводящие каналы располагались на уровне пода на стороне нижнего ряда горелок. После перевода печей на отопление скоростными горелками ГН и ГН(Н) и с учетом расчетных режимных и геометрических зависимостей были значительно улучшены показатели работы печей по равномерности нагрева (см. таблицу) и по эффективности (рис.4).

Работа огнеупорных туннелей в условиях высоких тепловых напряжений и наличия избыточного давления внутри туннеля (при частых сменах тепловой нагрузки) приводит к их быстрому разрушению.

Альтернативой туннельным горелкам являются скоростные горелки типа ГНБ (рис.5) [6, 7]. Эти горелки обеспечивают устойчивый скоростной факел без наличия огнеупорного туннеля. К этому типу горелок относятся и низкотемпературные (200–650 °С) скоростные горелки (горелки-теплогенераторы) ГНБ-ТГ. Они отличаются надежностью и простотой управления, обеспечивают качественное сжигание топлива в широком интервале рабочих температур (200–1650 °С). При температурах в рабочем пространстве печи выше 1200 °С горелки комплектуются специальным огнеупорным чехлом для защиты от излучения.

Разработана серия горелок ГНБ мощностью от 80 кВт до 1,0 МВт. Горелки аттестованы к

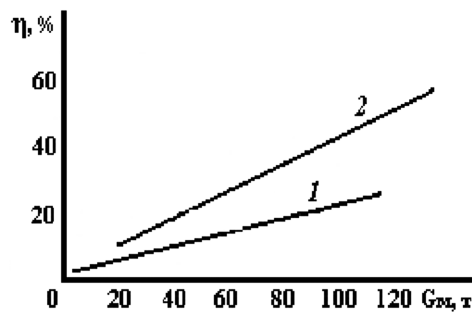


Рис.4. Коэффициент полезного действия камерной печи с выдвижным подом площадью $(4 \times 6) \text{ м}^2$: 1 — до реализации технологии точного нагрева; 2 — при ее реализации.



Рис.5. Скоростная горелка ГНБ-80.

применению на нагревательных агрегатах, где требуется интенсивный равномерный нагрев.

На базе горелок ГНБ мощностью 80, 100, 125 и 160 кВт и горелки-теплогенератора ГНБ-80-ТГ мощностью 80 кВт успешно реализована технология точного нагрева пакетных садов в туннельных печах для обжига керамических и огнеупорных изделий, в частности, кирпича [8].

Особенностью технологии точного нагрева в этих проходных печах является организация рециркуляционных контуров между пакетами садов в зонах обжига и подогрева, причем в зоне подогрева устанавливаются низкотемпературные скоростные горелки ГНБ-80-ТГ. Обычно неравномерность температур по высоте рабочего канала в пределах зоны подогрева пытаются устранить с помощью скоростных горелок малой мощности, например, горелок фирмы Kromshreder (Германия) или ГС [9].

Такие горелки устанавливают на уровне пода вагонеток для компенсации недостатка тепла на нижнем уровне рабочего канала печи и частичного перемешивания газовой среды за счет использования энергии топливно-воздушных струй. Однако энергии струй горелок малой тепловой мощности недостаточно для интенсивного перемешивания газов, поэтому сократить перепад температур меньше, чем на 80 °С, не удастся, особенно на низкотемпературных позициях печи. Применение горелок-теплогенераторов ГНБ-80-ТГ вместо скоростных горелок той же мощности позволяет решить эту задачу, поскольку масса и, следовательно, энергия инжектирующей струи из ГНБ-80-ТГ почти на порядок выше при одинаковых скоростях истечения [8].

Реализация технологии на туннельных печах производительностью от 5,0 до 30,0 млн шт. условного кирпича в год позволила повысить качество обжига, существенно (до 3 %) снизить брак, уменьшить удельный расход топлива на 15–25 %.

Внедрение технологии при обжиге легковесных огнеупоров в малогабаритной (24 м) туннельной печи (г. Старый Оскол, РФ) позволило отказаться от муфельей, увеличить производительность печи в 2 раза, на 20 % сократить удельный расход газа.

Выводы

Технология равномерного точного нагрева крупногабаритных изделий и садов на основе организации в свободном пространстве печи интенсивной рециркуляции греющих газов вокруг нагреваемого тела реализована в пламенных камерных и туннельных промышленных печах.

Рециркуляция газов происходит по симметричному контуру, геометрические параметры которого рассчитываются, исходя из тепловой мощности печи, температурного уровня процесса нагрева, требуемой равномерности нагрева и достаточной для этого кратности рециркуляции. Основным элементом такого контура является скоростная газовая горелка с предварительной подготовкой смеси газа и воздуха.

Список литературы

1. Пуговкин А.У. Рециркуляционные пламенные печи. — Л. : Машиностроение, 1975. — 199 с.
2. Пилипенко Р.А. Камерные термические печи прецизионного нагрева металла // Сб. докл. II Междунар. симпоз. «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении», Харьков, 2001 г. — Харьков : Харьк. физ.-техн. ин-т, 2001. — С. 20–24.
3. Еринов А.Е., Пилипенко Р.А. Совершенствование конструкций камерных термических печей // Оптимизация металлургических процессов. — 1969. — Вып. 3. — С. 308–312.
4. Еринов А.Е., Пилипенко Р.А. Расчет параметров нагревательного устройства с рециркуляцией продуктов горения // Сб. материалов науч.-техн. конф. «Использование природного газа в промышленности». — Киев : Наук. думка, 1969. — С. 47–53.
5. Пилипенко Р.А., Еринов А.Е. Разработка, исследование и применение скоростных горелок типа ГН // Теория и практика сжигания газа. — 1981. — Вып. 7. — 344 с.
6. Пат. 22209А Укр., МПК⁶ F 23 D 14/12; F 23 D 14/26. Газовый пальник / Р.А.Пилипенко, А.Е.Еринов, В.О.Сорока, Б.Д.Сезоненко, С.О.Петушкин. — Оpubл. 30.06.98, Бюл. № 3.
7. Пат. 81322 Укр., МПК⁸ F 23 D 14/12. Газовый пальник / Р.А.Пилипенко, О.В.Пилипенко, Д.М.Логвиненко. — Оpubл. 25.12.07, Бюл. № 21.
8. Пилипенко Р.А., Пилипенко А.В., Логвиненко Д.М. Повышение эффективности работы туннельных печей для обжига кирпича // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 2. — С. 23–26.
9. Торчинский А.И., Ляшко А.Ю., Крячок Ю.Н., Сергиенко А.А., Торчинский Д.А. Опыт освоения скоростных газогорелочных устройств серии ГС на туннельной печи обжига керамического кирпича ОАО «Керамика» (г. Витебск) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2012. — № 1. — С. 67–71.

Поступила в редакцию 22.07.13

**Пилипенко Р.А., канд. техн. наук, Пилипенко О.В.,
Логвиненко Д.М., канд. техн. наук**

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: ig.hil-ko@ukr.net

Основні положення технології точного нагрівання у полуменевих печах садкового типу

Запропоновано технологію точного (рівномірного) нагріву крупногабаритних виробів та садок у полум'яних печах, зокрема камерних термічних та тунельних. Технологія базується на організації інтенсивної внутрішньої рециркуляції гріючих газів навколо тіл, що нагріваються. Рух газів здійснюється за спеціальними рециркуляційними контурами. Геометричні та режимні параметри контуру рециркуляції розраховуються за запропонованою методикою. Основою цих контурів є швидкісні газові пальники з попередньою підготовкою суміші газу та повітря. Розроблено та атестовано до застосування на промислових печах три типи швидкісних пальників: ГН та ГН (Н) зі спеціальним вогнетривким тунелем, в якому відбувається повне або часткове згоряння суміші; ГНБ, що забезпечують повне згоряння суміші у малогабаритному факелі у вільному робочому просторі; ГНБ-ТГ, що забезпечують низькотемпературний швидкісний потік продуктів згоряння. Технологія точного нагріву успішно використовується при термічній обробці металу й випалюванні керамічних та вогнетривких виробів. *Бібл. 9, рис. 5, табл. 1.*

Ключові слова: технологія нагріву, рециркуляція газів, рівномірність нагріву, швидкісний пальник, піч садкового типу.

***Pylypenko R.A., Candidate of Technical Science, Pylypenko A.V.,
Logvynenko D.M., Candidate of Technical Science***

The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev

39, Degtjarivska St., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: ig.hil-ko@ukr.net

Main Points of Technology of Precise Heating of Large-Sized Products of the Fiery Furnaces

Technology of a precise (uniform) heating of large-sized products in the Fiery Furnaces is proposed specifically for thermal Chamber and tunnel kilns. The Technology is based on organization of intensive gas heating movement around the heated products. The movement of gas heating is going on special contours of recirculation. Parameters of contour of recycling are calculated by the offered methods. The basis of such contours are jet-stream burners with pre-arranged mixture of gas and air. Three types of jet-stream burners are designed and certified for use on industrial furnaces: GN and GN [N] with special refractory tunnel, in which there is a total or partial combustion of the mixture; GNB, ensuring combustion of mixture gas and air in compact torch in the free working space; GNB-TG ensuring high-speed low-temperature stream of combustion products. *Bibl. 9, Fig. 5, Table 1.*

Key words: heating technology, recycling, uniformity, speed burner, stove.

References

1. Pugovkin A.U. Recirculation fiery furnaces. Leningrad : Mashinostroyeniye Publ., 1975, 199 p.
2. Pylypenko R.A. Chamber heat thermal furnaces for precision metal heating. *Collection of Reports of the Second International Symposium «Equipment and technology for thermal processing of metals and alloys in machine building»*. Kharkov : National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology», 2001, pp. 20–24.
3. Pylypenko R.A. The intensification of the heat chamber furnaces heated with natural gas. *The collection of scientific papers «Metallurgical Heat Engineering»*, 2002, Iss. 3, pp. 99–107.
4. Yerinov A.E., Pylypenko R.A. Calculation of the specifications of heating device with recirculation of combustion products. *Proceedings of the Scientific and Technical Conference «The use of natural gas in the industry»*. Kiev : Naukova Dumka Publ., 1969, pp. 47–53.
5. Pylypenko R.A., Yerinov A.E. Development, research and application of high-speed burners of GN type. *The Theory and Practice of Gas Flaring*, 1981, Iss. 7, 344 p.
6. Pat. 22209A Ukr., МПК⁶ F 23 D 14/12; F 23 D 14/26. Gas burner. R.A.Pylypenko, A.E.Yerinov, V.O. Soroka, B.D.Sezonenko, S.O.Pyetyshkin. — Publ. 30.06.98, Bul. № 3.
7. Pat. 81322 Ukr., МПК⁸ F 23 D 14/12. Gas Burner. R.A.Pylypenko, O.V.Pylypenko, D.M.Logvinenko. — Publ. 25.12.07, Bul. № 21.
8. Pylypenko R.A., Pylypenko O.V., Logvinenko D.M. Improving the efficiency of tunnel kilns for firing bricks. *Energotekhnologii i Resursosberezhennia [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2010, (2), pp. 23–26.
9. Torchinskiy A.I., Lyashko A.Yu., Kryachok Yu.N., Torchinskiy D.A. The Experience of Development of Speed Gas-Burning Devices of GS Series on Tunnel Kiln for Ceramic Brick Roasting of JSC «Ceramics» (Vitebsk city). *Energotekhnologii i Resursosberezhennia [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2012, (1), pp. 67–71.

Received July 22, 2013

УДК 662.99:621.78

Олабин В.М., канд. техн. наук, Максимук А.Б.

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: olabin@ukr.net

Определение области устойчивой работы многосопловых погружных горелок

Многосопловые погружные горелки предназначены для сжигания газа внутри расплава. Для защиты от воздействия высоких температур камера горения имеет водяное охлаждение. Чтобы снизить теплопотери с водой, нужно минимизировать геометрические размеры горелки. Минимизация размеров горелки, в первую очередь щелевой камеры горения, осуществляется исходя из критерия максимально допустимой тепловой нагрузки. В результате анализа экспериментальных данных, полученных при исследовании огневых и гидравлических моделей многосопловых погружных горелок, разработана методика определения области устойчивой работы горелок в расплаве. Основным критерием, определяющим максимальную тепловую нагрузку многосопловых погружных горелок, является предельно допустимая удельная нагрузка стабилизационной зоны камеры горения. Описана методика определения количества горючей смеси, поступающей в стабилизационную зону. Получены зависимости, позволяющие рассчитывать максимальную нагрузку на горелку. Приведена зависимость глубины вытеснения расплава из камеры горения от расхода горючей смеси, поступающей на горелку. Приведены практические рекомендации для выбора геометрических размеров камеры стабилизации горелок многосопловых погружных горелок. *Библ. 6, рис. 5.*

Ключові слова: погружная горелка, расплав, стабилизация горения, область устойчивой работы.