

**Троценко Л.Н., канд. техн. наук, Пикашов В.С., канд. техн. наук**  
**Институт газа НАН Украины, Киев**

*ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: t-ln@ukr.net*

## **Система регулирования температурного режима вращающейся печи**

Разработана и внедрена на вращающейся печи для обжига каолина на комбинате по производству огнеупоров система отопления на базе двухпроводной газовой горелки с регулируемой длиной факела мощностью 35 МВт и максимальным расходом природного газа 4000 м<sup>3</sup>/ч. Конструкция горелки обеспечивает регулирование длины факела, способствуя достижению требуемого технологическими условиями распределения температуры по длине печи. В систему отопления входит защитно-запальное устройство, система безопасности и регулирования температуры в печи. Во внутренних слоях кладки установлены термодатчики с бесконтактной передачей сигнала к пульту управления. В результате реконструкции среднегодовая экономия природного газа составила 15–20 %. Температура газов на выходе из печи уменьшилась на 100–200 °С. Благодаря уменьшению разрежения перед дымососом с 1,2–1,5 до 0,8–1,0 кПа в печи значительно снизился пылеунос, а приведенные к  $\alpha = 1,0$  выход NO<sub>x</sub> после печи составлял не более 225 мг/м<sup>3</sup>, СО – 0,019 %. *Библ. 4, рис. 4, табл. 1.*

**Ключевые слова:** вращающаяся печь, система отопления, газовая горелка, длина факела, регулирование температуры.

Область применения вращающихся печей велика: предприятия цветной и черной металлургии, цементные заводы, химическая промышленность, заводы строительных материалов и др. Несмотря на большое разнообразие технологических процессов, протекающих в этих печах, их объединяет одна особенность — наличие различных температурных зон по длине барабана при одностороннем концентрированном подводе тепла.

Вращающиеся печи работают по принципу противотока. Со стороны верхнего края в полый барабан подается обжигаемый материал, а со стороны нижнего края в печь непрерывно подаются горячие продукты сгорания топлива, которые движутся навстречу медленно сползающему вниз обрабатываемому материалу, испаряют содержащуюся в нем влагу, способствуют протеканию химических реакций и постепенно нагревают его до заданной температуры обжига.

В зависимости от требований технологии в процессе обжига или сушки различных материалов, от состава обрабатываемого сырья, производительности печи, скорости вращения барабана обеспечивается строго определенное распределение температур по длине печи. Причем на одном и том же агрегате режимы термической обработки материала могут изменяться в зависимости от состава сырья, его влажности, необходимости намазки гарнисажа и т.п., что

требует оперативного регулирования температурного распределения вдоль печи.

В таких печах управление тепловым режимом часто осуществляется несколькими способами: изменением тепловой мощности (расхода топлива), расхода воздуха, когда за счет энергии избыточного воздуха увеличивают дальность греющих газов и таким образом перемещают зону высоких температур, и изменением разрежения в печи [1, 2]. В большинстве случаев это может привести к ощутимому изменению технологических параметров работы печи и неэффективности ее работы в целом.

Очевидно, что одним из условий стабильной и эффективной работы вращающихся печей является управление их температурным режимом, а именно: обеспечение требуемого распределения температур при различных значениях тепловой мощности и производительности. Этого можно достичь, применяя горелки с регулируемыми параметрами факела.

Институтом газа НАН Украины разработана и внедрена на одной из вращающихся печей комбината по производству огнеупоров модернизированная система отопления [3], состоящая из основной горелки ПГ-35М мощностью 35 МВт (расход природного газа до 4000 м<sup>3</sup>/ч) в комплекте с защитно-запальным устройством (ЗЗУ), автоматикой безопасности и управления температурным режимом.

Такая система отопления и регулирования температурного режима была внедрена на вращающейся печи для обжига каолина на шамот производительностью 20–22 т/ч с длиной и диаметром барабана 75 и 3,6 м соответственно и рабочей температурой в зоне обжига печи 1450–1500 °С. Ранее на печи применялись две однопроводные горелки, работающие на природном газе среднего давления ( $P_n = 80$  кПа) с суммарным максимальным расходом газа 3800–4000 м<sup>3</sup>/ч и установленные равноудаленно от оси печи. Подача первичного холодного воздуха в количестве 25–30 % всего воздуха, участвующего в горении, производилась вентилятором высокого давления через воздушную трубу, установленную выше горелок по оси откатной головки (рис.1). Подача вторичного воздуха, проходящего через холодильник и нагревающегося до 500–700 °С, осуществлялась за счет разряжения в печи.

Во время капремонта печи взамен двух существующих горелок была установлена по оси

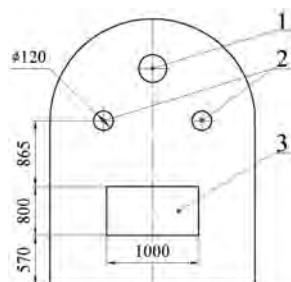


Рис.1. Схема установки горелок и подвода воздуха на лицевой стороне откатной головки печи до реконструкции: 1 — место ввода воздушной трубы для подвода первичного воздуха; 2 — места установки однопроводных горелок; 3 — технологическое окно.

печи одна горелка с регулируемой длиной факела ПГ-35М в комплекте с ЗЗУ. Распределение воздуха на первичный и вторичный осталось прежним. Установка горелки ПГ-35М в откатной головке печи показана на рис.2.

Горелка ПГ-35М (рис.3), в основу конструкции которой положены известные принципы регулирования интенсивности смешения газа и воздуха, относится к типу диффузионных горелок, когда горение газа происходит по мере его перемешивания с воздухом в рабочем пространстве. Отличительной особенностью горелки является наличие стабилизатора горения в виде плохо обтекаемого тела, установленного в воздушном зазоре [4].

Горелка состоит из воздушного цилиндрического корпуса, оканчивающегося соплом в виде конуса. Внутри воздушного корпуса расположены наружная и внутренняя газовые



Рис.2. Установка горелки с регулируемой длиной факела в торце откатной головки печи.

трубы, оканчивающиеся газовым соплом. Регулирование длины факела горелки ПГ-35М осуществляется подвижным газораспределительным клапаном, состоящим из цилиндрического, заглушенного с одной стороны патрубка, переходящего в полый конус с другой стороны. На цилиндрической части выфрезерованы продольные пазы для прохода газа, а в конусе с этой же целью высверлены отверстия. Газораспределительный клапан соединен с тягой через муфту вращения и перемещается в продольном направлении с помощью маховика. Устойчивая работа горелки обеспечивается стабилизатором в виде плохо обтекаемого тела, установленного в сопловой части горелки. Регулируя положение клапана с помощью маховика, можно создавать условия для истечения газа сплошной струей через центральное отверстие сопла или через боковые отверстия, направленные под углом к воздушному потоку, тем самым изменяя длину факела между его крайними значениями от 5 до 25 м.

Взаимное расположение горелки и ЗЗУ в печи представлено на рис.4. Наличие компенса-



Рис.3. Горелка ПГ-35М с регулируемой длиной факела в разрезе.



Рис. 4. Установка горелки ПГ-35М в комплекте с ЗЗУ. Вид из рабочего пространства: 1 — конусная часть газораспределительного клапана; 2 — центральное газовое сопло; 3 — стабилизатор; 4 — воздушное сопло; 5 — ЗЗУ.

торов на подводящих воздухо- и газопроводах дает возможность регулировать наклон горелки относительно оси печи. Глубину введения горелки в рабочее пространство устанавливали при наладке теплового режима. Наилучшие показатели по производительности печи и качеству обжига каолина на шамот были получены при повороте горелки на  $5^\circ$  в сторону открытой поверхности футеровки с противоположной стороны от насыщенного материала и расположении среза сопла горелки в откатной головке.

Автоматизация системы отопления печи была выполнена на основе блока управления БАУ-ТП (микропроцессорного контроллера с индивидуальным программным обеспечением) и стандартных датчиков. Необходимые элементы автоматики безопасности и регулирования были размещены на подводящем газопроводе на газовой рампе, которая находилась непосредственно у горелки. Непрерывный контроль дав-

#### Показатели работы печи до (I) и после (II) реконструкции

Параметры	I	II
Производительность печи, т/ч	19–23	18–23
Давление природного газа перед горелками, кПа (кгс/см <sup>2</sup> )	80 (0,8)	80 (0,8)
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /ч	3100	2200
Давление первичного воздуха, кПа	0,2–0,22	0,2–0,22
Расход первичного воздуха, м <sup>3</sup> /ч	9000–11000	6000–8000
Температура, °С:		
в горячей головке печи	660–750	760–860
в пылевой камере	420–550	330–360
перед электрофильтрами	250–280	180–190
перед дымососом	100–150	80–90
Разрежение, кгс/см <sup>2</sup> :		
в горячей головке печи	1,0–2,0	1,0–2,0
в пылевой камере	5,0–7,0	3,0–4,0
перед дымососом	120–150	80–100

ления газа и воздуха на горение, разрежения в печи и наличия пламени на ЗЗУ обеспечивал надежность и безопасность работы, а работа ЗЗУ с электродами розжига и контроля наличия пламени обеспечивала безопасность работы всей системы.

Известные методы контроля параметров теплообмена в печи затруднены вследствие постоянного вращения барабана. Составление алгоритма расчета нагрева шихты и автоматическое управление тепловым режимом на основании этого расчета также затруднены ввиду большого количества неизвестных данных: параметров горения и теплоотдачи в условиях сильной запыленности внутри печи, характера движения слоя материала и прилипания его отдельных слоев и частиц к поверхности кладки, аэродинамики в рабочем пространстве и т.д.

В связи с этим для регулирования теплового режима печи в систему отопления был включен беспроводный контроль температуры кладки зоны обжига от трех термодатчиков. Термопары ТПП были установлены в корундовый чехол, прикрепленный к корпусу барабана таким образом, чтобы их рабочий спай был выведен на уровень внутренней поверхности футеровки. Однако при запуске и разогреве печи в течение первых суток металлические крепления стакана были срезаны, а термопары повреждены в результате смещения кладки по окружности относительно корпуса барабана почти на 350 мм.

После укрепления кладки в месте установки термодатчиков от смещения относительно корпуса барабана применили термопары ТХА и установили их на глубину  $2/3$  толщины кладки. Сигналы о температуре внутренних слоев кладки зоны обжига в трех точках по ее длине передавались к пульту управления при помощи радиомодема, работающего на солнечных батареях. Показания этих термодатчиков учитывались операторами печи при регулировании тепловой мощности горелки ПГ-35М и настройке оптимальной длины факела.

Результаты промышленных испытаний работы вращающейся печи до и после установки новой системы отопления приведены в таблице.

Печь после проведенной реконструкции находится в эксплуатации более 7 лет. Внедрение новой системы отопления с использованием горелки ПГ-35М и системы регулирования температуры позволило упростить управление тепловым режимом печи и улучшить основные показатели ее работы.

За счет улучшения условий смешения газа и воздуха в горелке удалось снизить количество

холодного первичного воздуха без изменения параметров вторичного подогретого воздуха на горение. В результате коэффициент расхода воздуха  $\alpha$  снизился с 1,1–1,3 до 1,05–1,1; догорание топлива за пределами рабочего пространства практически отсутствовало, что является свидетельством снижения химического недожога газа и создания нормальных условий для работы вспомогательного оборудования.

Температура газов на выходе из печи уменьшилась на 100–200 °С, что свидетельствует об интенсификации теплообмена в рабочем пространстве.

Улучшились экологические показатели работы печи. Благодаря уменьшению разрежения перед дымососом с 1,2–1,5 до 0,8–1,0 кПа в печи значительно снизился пылеунос, а приведенные к  $\alpha = 1,0$  выход  $\text{NO}_x$  после печи составлял не более 225 мг/м<sup>3</sup>,  $\text{CO} = 0,019\%$ , что соответствует принятым в Украине нормам по вредным выбросам в окружающее пространство.

### Выводы

Конструкция горелки ПГ-35М позволяет регулировать длину факела за счет перемещения газораспределительного клапана вдоль корпуса горелки. Это дает возможность точного со-

блюдения технологических требований, а именно: распределения температур по длине печи. Обеспечение оптимального температурного поля в зоне обжига позволяет сократить удельные затраты топлива на получение шамота без ухудшения его качества.

Экономия топлива в рабочее время достигала 30 %, а среднегодовая экономия природного газа составляет 15–20 %.

### Список литературы

1. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладьгичев М.Г. Вращающиеся печи : Теплотехника, управление и экология : Справ. — М. : Теплотехник, 2004. — 588 с.
2. Монастырев А.В., Александров А.В. Печи для производства извести : Справ. — М. : Металлургия, 1979. — 232 с.
3. Троценко Л.Н., Пикашов В.С., Виноградова Т.В. Совершенствование системы отопления вращающейся печи для обжига огнеупорной глины // Труды XVI Междунар. конф. «Теплотехника и энергетика в металлургии», Днепропетровск, 4–6 окт. 2011 г.— Днепропетровск : Нац. металлург. акад. Украины, 2011. — С. 168–169.
4. Пат. 47912 Укр., МПК<sup>8</sup> F 23 D 14/00. Пальник для спалования газу / В.С.Пікашов, Л.М.Троценко, С.В.Цветков, О.А.Прусський, В.О.Великодний. — Оубл. 25.02.10, Бюл. № 4.

Поступила в редакцию 23.04.14

**Троценко Л.М.**, канд. техн. наук, **Пікашов В.С.**, канд. техн. наук  
**Інститут газу НАН України, Київ**  
 вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: t-ln@ukr.net

## Система регулювання температурного режиму обертової печі

Розроблено та впроваджено на обертовій печі для випалу каоліну на комбінаті з виробництва вогнетривів систему опалення на базі двопровідного газового пальника з довжиною факела, що регулюється, потужністю 35 МВт та максимальними витратами природного газу 4000 м<sup>3</sup>/год. Конструкція пальника забезпечує можливість регулювання довжини факелу, сприяючи досягненню розподілу температур за довжиною печі відповідно до технологічних умов. У систему опалення входить захисно-запальний пристрій та система безпеки та регулювання температури у печі. У внутрішніх шарах кладки встановлено термодатчики з безконтактною передачею сигналу до пульту управління. У результаті температура газів на виході з печі зменшилася на 100–200 °С. Завдяки зменшенню розрідження перед димососом від 1,2–1,5 до 0,8–1,0 кПа у печі значно знизився пилонос, а приведенний до  $\alpha = 1,0$  вихід  $\text{NO}_x$  після печі становив не більш 225 мг/м<sup>3</sup>,  $\text{CO} = 0,019\%$ . *Бібл. 4, рис. 4, табл.1.*

**Ключові слова:** обертова піч, система опалення, газовий пальник, довжина факела, регулювання температури.



**Trotsenko L.**, Candidate of Technical Sciences,  
**Pikashov V.S.**, Candidate of Technical Sciences

*The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev*  
 39, Degtjarijska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: t-ln@ukr.net

## System of Temperature Mode Regulation of Rotary Kiln

New heating system on the basis of the gas burner with adjustable length of the torch with 35 MW capacity and the maximum flow of natural gas to 4000 m<sup>3</sup>/h was developed and implemented on a rotating kiln of kaolin factory for production of refractories. Air supply is realized by burner of 25–30 % of the total needed for combustion air and supply through the draught of the rest of the air flow, heated in the refrigerator fireclay crumbs to 500–700 °C. The design of the burner provides the ability to control the length of the torch, contributing to the achievement of the required technological conditions of temperature distribution along the length of the furnace. Regulation of the length of flame in the burner is carried out using special gas valve. In the heating system includes also includes protective-ignition device and security system and regulation of temperature in the furnace. To regulate the temperature in the burning zone for the first time in domestic practice of rotary kilns operation in the inner layers of masonry installed sensors with contactless transmission of signal to the control unit via radio, powered by solar batteries. The furnace has a length of 75 m and drum diameter 3,6 m. Temperature in the burning zone is 1450–1500 °C. As a results of industrial tests of new heating system of rotary kiln was reached reduction of natural gas consumption in continuous operation of the furnace up to 30 % at reduction of excess air ratio from 1,1–1,3 up to 1,05–1,1 and depression before vacuum exhauster from 1,2 to 1,5 up to 0,8–1,0 kPa. *Bibl. 4, Fig. 4, Table 1.*

**Key words:** rotary kiln, heating system, gas burner, flame length, temperature control.

### References

1. Lisienko V.G., Shhelokov Ya.M., Ladygichev M.G. Vrashhajushhiesja pechi : Teplotehnika, upravlenie i jekologija. Moscow : Teplotehnik, 2004. (Rus.)
2. Monastyrev A.V., Aleksandrov A.V. Pechi dlja proizvodstva izvesti. Moscow : Metallurgija, 1979, 232 p. (Rus.)
3. Trocenko L.N., Pikashov V.S., Vinogradova T.V. Sovershenstvovanie sistemy otoplenija vrashhajushhejsja pechi dlja obzhiga ognepurnoj gliny. *Trudy XIV Mezhdunarodnoj konferencii «Teplotehnika i jenergetika v metallurgii»*, Dnepropetrovsk, 4–6 Oct., 2011, Dnepropetrovsk : Nacional'naja metallurgicheskaja akademija Ukrainy, 2011, pp. 168–169. (Rus.)
4. Pat. 47912 Ukr., MPK<sup>8</sup> F 23 D 14/00. Pal'nik dlja spaljuvannja gazu, V.S.Pikashov, L.M.Trocenko, S.V.Cvetkov, O.A.Prus'kij, V.O.Velikodnij. — Publ. 25.02.10, Bul. 4. (Ukr.)

Received April 23, 2014