

**Lavrenzov E.M.¹, Sigal I.Ya.², Smikhula A.V.¹, Sigal A.I.²,
Kuchin G.P.², Skripko V.Ya.², Bykorez E.I.²**

¹ The Gas Institute of NASU, Kiev

² Institute of Technical Thermophysics of NASU, Kiev

Reconstruction and Modernization of Water-Heating and Steam Boilers in Heat-Systems (Review)

In the municipal power system of Ukraine operates a large number of hot water and steam boilers of domestic designs with efficiency up to 90%. The substitution of boilers which are completely operationally exhausted by new demands large expenses, especially when using imported designs. The reconstruction and modernization of operable domestic boilers in order to extend they work period and to increase technical, economic and environmental indicators is an urgent task enables to make systematically replacement malfunctioning heating equipment on new, preferably domestic.

Key words: municipal power system, water-heating boiler, steam boiler

Received March 12, 2012

УДК 666.09.4

**Торчинский А.И.¹, Ляшко А.Ю.¹, Крячок Ю.Н.¹, Кореба С.А.²,
Тараненко П.И.³, Робачук П.А.³, Щербина А.М.⁴**

¹ Институт газа НАН Украины, Киев

² ОАО «Житомирском комбинат силикатных изделий»

³ ЗАО «Таврийська будівельна компанія», Херсон

⁴ ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат»

Новое оборудование для интенсификации теплообмена в шахтных печах производства извести

Рассмотрены основные особенности конструкции печей для обжига известняка. Выполнен анализ влияния теплотехнологических и аэродинамических параметров на интенсификацию процесса обжига и снижение расхода природного газа при производстве извести. Предложен комплекс нового оборудования для интенсификации обжига, которое внедрено на некоторых предприятиях Украины. Произведена оценка теплотехнологических и экономических показателей предложенного способа обжига по сравнению с традиционным способом.

Ключевые слова: шахтная печь, обжиг известняка, скоростное газогорелочное устройство серии ГС, качество обжига.

Розглянуто основні особливості конструкції печей для випалення вапняку. Зроблено аналіз впливу теплотехнологічних та аеродинамічних параметрів на інтенсифікацію процесу випалу та зниження витрат природного газу при виробництві вапна. Запропоновано комплекс нового устаткування для інтенсифікації випалу, яке упроваджено на деяких підприємствах України. Зроблено оцінку теплотехнологічних та економічних показників запропонованого способу випалу у порівнянні з традиційним способом.

Ключові слова: шахтна піч, випал вапняку, швидкісний газопальниковий пристрій серії ГС, якість випалу.

В настоящее время среди вяжущих материалов известь по объему производства и затратам топлива занимает второе место в мире после производства цемента. Производство извести в основном сосредоточено на шахтных печах в силу пониженных удельных энергозатрат по сравнению с вращающимися печами. В себестоимости производства извести топливо занимает более 50 %. Поэтому вследствие больших объемов потребления природного газа при производстве извести и больших цен на него актуальными являются технические решения, снижающие удельные расходы природного газа, затрачиваемого на производство.

Основным недостатком шахтных печей является проблематичность обжига материала в центре печи. Для того, чтобы прогреть центр печи, постоянно ведется поиск способов и оборудования для осуществления полноценного нагрева материала, находящегося в приосевой области. Одним из способов, направленных на решение этого вопроса, является уменьшение толщины слоя прогрева материала. Для этого были созданы шахтные печи с эллипсным или прямоугольным поперечным сечением (например, конструкции Росстройпроекта, где поперечное сечение шахты щелевидное с размером $1,6 \times 8$ м).

Для осуществления обжига в слое небольшой толщины на заводах фирмы «Wapfingor Kalk Steinwerke Masers Schmidt» в Австрии используется печь, состоящая из трех шахт. Каждая шахта имеет площадь поперечного сечения 2 м^2 [1]. На этих печах удельный расход природного газа составляет $118 \text{ м}^3/\text{т}$ извести.

Одним из направлений интенсификации нагрева материала в центре шахтных цилиндрических печей является применение вращающихся лотковых распределительных устройств, которые позволяют накапливать по оси печи более крупную фракцию материала. Это позволяет снизить аэродинамическое сопротивление слоя вдоль оси шахты и направить продукты сгорания от периферии в центр.

Наряду с конструктивными усовершенствованиями шахтных печей с целью интенсификации теплообмена в центре слоя кускового материала основное место занимает совершенствование газогорелочных устройств, схем их размещения. Наиболее часто применяемым способом ввода теплоты в центр шахтной печи является ввод топлива при помощи водоохлаждающей балки-горелки, однако применение таких горелок из-за потерь с охлаждающей водой приводит к перерасходу топлива (минимум на 10 %).

Для нагрева кускового материала по периферии печи применяются периферийные газого-

релочные устройства. Однако сжигание газа в слое кускового материала затруднено плохим перемешиванием газа с воздухом. Исследования показали, что при применении периферийных диффузионных и инжекционных горелок высокое содержание CH_4 , CO , H_2 наблюдается на расстоянии до 0,8 м от стенки шахты [2].

Таким образом, на основании анализа сжигания газообразного топлива в кусковом слое, из особенностей аэродинамических и тепловых процессов, протекающих в шахтных печах при обжиге кускового материала, можно выделить основные требования для теплового оборудования шахтной печи: 1) обеспечение ввода газообразного топлива в середину шахтной печи по ее оси; 2) отвод продуктов сгорания из середины шахтной печи по ее оси; 3) проникновение продуктов сгорания в центральную часть шахтной печи; 4) расположение топлива по периферии как можно равномернее по длине окружности печи, а также по ее высоте; 5) конструкция периферийных газогорелочных устройств должна обеспечивать интенсивное перемешивание газа с воздухом; однако, при этом, конструкция газогорелочных устройств должна исключить перегрев простеночных слоев и футеровки печи; 6) газогорелочные устройства шахтной печи не должны иметь водяного охлаждения, чтобы исключить потери теплоты с охлаждающей водой. Из перечисленных выше требований вытекает вывод о необходимости наличия на каждом ярусе шахтной печи газогорелочных устройств, которые бы удовлетворяли особенным требованиям, специфичным для каждого яруса шахтной печи.

Разработка газогорелочных устройств для установки по периметру шахтной печи базировалась на следующих концептуальных принципах.

1. Периферийные газогорелочные устройства должны иметь стабилизацию факела, поскольку в зоне обжига и предварительного подгрева разрежение может достигать 70 мм вод. ст. Это может привести к дестабилизации процесса горения и таким нежелательным явлениям, как значительный химический недожог или скопление метана.

2. Периферийные газогорелочные устройства должны иметь значительный начальный импульс движения, а также в начале газозвдушной струи должны отсутствовать продукты полного сгорания, чтобы, во-первых, в пристеночных слоях не было высоких температур, которые бы могли разрушить футеровку печи; во-вторых, чтобы проникновение продуктов сгорания в глубь кускового материала было максимальным; в-третьих, большие скорости га-

за и воздуха обеспечивают хорошее смешение для последующего полного сгорания.

3. Периферийные газогорелочные устройства ярусов шахтной печи должны иметь различные конструкции, связанные с разной степенью стабилизации факела, а также с подачей газовой смеси, имеющей разные коэффициенты избытка воздуха.

В Институте газа НАНУ разработан типовой ряд скоростных газогорелочных устройств серии ГС (ТУ У 3696-021-05417035:2008) разной тепловой мощности [3, 4], удовлетворяющих вышеуказанным требованиям. Они создают активную струю газовой смеси, проникающую в глубь кускового материала, а также гарантируют устойчивость горения газовой смеси при любых температурных и аэродинамических параметрах печи. Кроме того, эти горелки могут работать с большими коэффициентами избытка воздуха, в силу чего температура и длина факела могут регулироваться в широких пределах. Газовоздушная смесь, вытекающая из горелок с большой скоростью, проникает далеко в глубь печного пространства (кускового материала), эжектирует печную атмосферу в факел, что способствует интенсивному перемешиванию и усреднению температуры и печной атмосферы по поперечному сечению агрегата. Перечисленные параметры скоростных газогорелочных устройств серии ГС позволяют использовать их в тех зонах печи, где традиционные горелки не могут эксплуатироваться, что дает возможность регулировать температурный и тепловой режимы нагрева в заранее заданном диапазоне.

Все перечисленное явилось основанием для внедрения горелок серии ГС с целью интенсификации процесса подогрева и обжига известняка в шахтных печах и существенного улучшения теплотехнических показателей указанного процесса.

Впервые такие газогорелочные устройства и связанный с их применением способ обжига внедрены на ОАО «Житомирском комбинате силикатных изделий». Внедрение нового способа обжига известняка происходило поэтапно. На первом этапе скоростные газогорелочные устройства серии ГС были установлены на 2-м ярусе шахтной печи. Их преимущество состоит в интенсивной подаче газовой смеси (со скоростью истечения до 100 м/с) в кусковой слой материала. В силу реактивной энергии струи и ее большой массы факел горелки проникает в глубь печи, а также отгоняет в центр печи печные газы, движущиеся от горелок 1-го яруса. Вследствие этого центральная часть печи прогревается интенсивнее, а топливо от горелок

1-го яруса в большей степени взаимодействует с воздухом, находящимся в печи, и поэтому лучше сгорает. Кроме того, большие скорости истечения газа и воздуха, а также их скоростное соударение с кусковым материалом приводит к интенсивному дроблению газовой смеси и перемешиванию газа с первичным воздухом, подаваемым в горелку, и со вторичным, проходящим через печь в результате тяги. Сказанное обуславливает более полное сгорание природного газа.

Опытно-промышленная проверка газогорелочного устройства непосредственно на печи показала перспективность оснащения 2-го яруса новым оборудованием.

Сравнение режимов работы печи при подаче стехиометрического количества воздуха на основные горелки 2-го яруса и без подачи воздуха (эмитировались новая схема и старая схема сжигания) показывает, что в первом случае химический недожог топлива намного меньше и снизился на 14,1 %. Кроме того, исследования показали, что при схеме сжигания с подачей стехиометрического количества воздуха на основные горелки 2-го яруса и без подачи воздуха (первичного и вторичного) на горелки 1-го яруса химический недожог топлива в среднем составляет 25–30 %.

Напрашивается вывод, что при подаче в горелки 1-го яруса около 30 % воздуха на горение химический недожог топлива в указанном диапазоне расхода газа можно существенно уменьшить. Уменьшение разрежения перед дымососом, снижение подсосов воздуха в фурмы верхнего и нижнего ярусов приводит к увеличению химического недожога топлива, что связано со снижением количества воздуха, соприкасающегося и реагирующего с природным газом в процессе его сжигания. На последующих этапах внедрения газогорелочные устройства серии ГС были установлены на всех ярусах печи.

Результаты исследования химического состава продуктов сгорания подтвердили эффективность сжигания природного газа при помощи газогорелочных устройств серии ГС. Химический состав уходящих газов до и после реконструкции приведен в таблице.

Химический состав уходящих газов

Газ	До реконструкции, %	После реконструкции, %
CO ₂	8,6	8,2
O ₂	15,0	15,4
CH ₄	0,5	0
H ₂	0,13	0,005
CO	0,7	0,03

Из нее видно, что компоненты неполного сгорания во втором случае ничтожно малы (следы). При традиционном сжигании наблюдалось значительное количество продуктов неполного сгорания природного газа.

В результате проведенных в 1996–1997 гг. работ были внедрены элементы новой системы обжига известняка на базе скоростных газогорелочных устройств серии ГС конструкции Института газа с применением трехъярусной системы сжигания. Эти работы в силу сложившихся объективных обстоятельств носили ограниченный и несовершенный характер. Несмотря на это удалось компенсировать поглощение теплоты в зоне эндотермических реакций, существенно расширить зону обжига, выровнять в сторону снижения температуру в ней, увеличить время пребывания известняка в зоне обжига при умеренных температурах и таким образом обеспечить «мягкий» обжиг и экономию топлива. Удельный расход топлива на обжиг существенно снизился (при активности извести и производительности печи равной той, что была до внедрения). Суточный расход топлива снизился с 14000 до 11000 м³/сут (примерно на 20–25 %). Таким образом, при модернизации шахтных печей гарантированная экономия природного газа составляет 15 %, что подтверждено актом внедрения.

Последующие этапы внедрения нового способа обжига известняка в шахтных печах, разработанного Институтом газа НАНУ, связаны с расширением технических и финансовых возможностей решения задач, обеспечивающих значительную эффективность. Новый способ нагрева и обжига известняка включает следующую теплотехнологическую систему [5]: периферийные скоростные газогорелочные устройства серии ГС различной тепловой мощности; ввод топлива в центр шахтной печи; отбор дымовых газов из центра шахтной печи; автоматизированный контроль за параметрами процесса и автоматическое поддержание заданной температура обжига по ярусам шахтной печи.

Описанная система внедрена на шахтной печи № 3 (диаметром 3,2 м) ЗАО «Таврійська будівельна компанія» (г. Херсон) без автоматического поддержания заданной температуры обжига по ярусам шахтной печи, а также на шахтной печи (диаметром 3,2 м) ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат» с автоматическим контролем и поддержанием заданной температуры обжига по ярусам шахтной печи. На этих печах достигнута значительная теплотехнологическая эффективность за счет следующих факторов: отсутствие недожога топлива из-за применения эффектив-

ных периферийных скоростных газогорелочных устройств; точное поддержание температуры по ярусам шахтной печи, отсутствие недожога или пережога известкового камня, перегрева фурм, огнеупорной футеровки и насадок газогорелочных устройств вследствие применения автоматического регулирования процессом обжига.

На шахтной печи ЗАО «Таврійська будівельна компанія» эффективность внедрения указанного способа обжига оценивается экономией природного газа 20 % при активности получаемой извести 75–80 % и экономией 30 % при активности 85–90 %, что подтверждается актами внедрения.

На шахтной печи ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат» при производительности печи 55 т/сут и активности получаемой извести 88–92 % расход природного газа составлял 289–290 м³/ч, что на 15–20 % меньше для аналогичной производительности при эксплуатации шахтной печи при ранее применяемой системе обжига (при этом активность извести не превышала 80–85 %).

Процесс обжига на шахтной печи ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат» автоматизирован. Автоматическая система управления процессом обжига известняка в шахтной печи базируется на программируемом логическом контроллере Mitsubishi с выводом всех контролируемых параметров на монитор ПК. Поддерживается заданная температура по ярусам печи в районе установки газогорелочных устройств, контролируется расход газа и воздуха по ярусам печи, контролируется температура и разрежение по всей печи, все контролируемые и управляемые параметры выводятся на монитор ПК.

Автоматическое поддержание заданной температуры по сечению шахтной печи дает возможность снизить потребление природного газа, достичь заданной активности извести, сохранить ресурс газогорелочных устройств, фурм, футеровки шахтной печи.

Таким образом, эффективность разработанного способа обжига известняка в шахтной печи подтверждена практическим внедрением на вышеуказанных предприятиях с получением значительно более высоких теплотехнологических и экономических показателей по сравнению с традиционным способом обжига.

Список литературы

1. Potke W. Hochgeschwindig Keitsbrenner Zwi Vergleichmobigung der Temperaturen and ofen Atmosphäre in Tunnelafen // Ziegelindustrie Intern. — 1985. — Bd. 38, № 1. — S. 31–37.

- 2 Табунщиков Н.П. Производство извести. — М. : Химия, 1974. — 239 с.
3. Пат. 28025 Укр., МПК⁶ С2 F 23 D 14/00. Газовая горелка / А.И.Торчинский, Г.Н.Павловский. — Оpubл. 2000, Бюл. № 5.
4. Пат. 27849 Укр., МПК⁶ С2 F 23 D 14/00, 13/00. Газовая горелка / А.И.Торчинский, Г.Н.Павловский и др. — Оpubл. 2000, Бюл. № 5.
5. Торчинский А.И. Новое оборудование и система обжига известкового камня в шахтных печах // Энергоэффективность-2008 : Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Киев, 6–8 окт. 2008 г. — Киев, 2008. — С. 24–26.

Поступила в редакцию 12.03.12

***Torchinskij A.I.¹, Ljashko A.J.¹, Krjachok J.N.¹, Koreba S.A.²,
Taranenko P.I.³, Robachuk P.A.³, Scherbina A.M.⁴***

¹ *The Gas Institute of NASU, Kiev*

² *JSC «Zhitomir Complex of Silicate Products»*

³ *CJSC «TBC», Kherson*

⁴ *JSC «Zaporozhye AC»*

The New Equipment for Heat Exchange Intensification in Mine Stoves for Lime Production

The main construction features of limestone firing stoves are considered. The analysis of heat and technological and aerodynamic parameters influence on intensification of process of firing process and natural gas consumption decrease during lime production is executed. The new equipment complex for firing intensification which is introduced at some enterprises of Ukraine is proposed. The estimation of the proposed firing method heat and technological and economic indicators of burning in comparison with traditional method is executed.

Key words: mine stove, limestone firing, speed gas-burning device of GS series, firing quality.

Received March 12, 2012

Сводный каталог периодических изданий, выпускаемых академиями наук — членами МААН

Каталог создан после принятия Советом Международной ассоциации академий наук решения о поддержке инициативы Совета по книгоизданию при МААН о создании совместного подписного каталога научных периодических изданий Академий наук и организаций — членов МААН.

Цель создания каталога — улучшение коммуникаций и обмена научной информацией между учеными и создание льготных условий для подписчиков, издателей и редакций научных изданий.

По вопросам организации подписки, оформления заказов и обработки подписной документации обращайтесь по адресам:

в Украине

Агентство «Укринформнаука»
ул. Владимирская, 54, комн. 144
Киев-30, 01601
тел. / факс +38 (044) 239-64-57
моб. +38 (050) 154-77-83
E-mail: innovation@nas.gov.ua

в России

Компания «Информнаука»
вед. специалист
Перова Ольга Александровна
тел.: 8(495) 787 38 73
факс: 8(499) 152 54 81
e-mail: perova@viniti.ru