

**УДК 621.745.34****О.В. БОЙКО**, генеральный директор,**А.Н. МАМАЕВ**, технический директор, **Г.Д. ЛИТВИНОВА**, главный специалист

ОАО «Липецкстальпроект», г. Липецк, РФ

## НОВЫЕ ШАХТНЫЕ ПЕЧИ КОНСТРУКЦИИ ОАО «ЛИПЕЦКСТАЛЬПРОЕКТ»

Рассмотрены особенности процесса обжига известняка в шахтных печах с газораспределительным керамическим керном на основе построенных по проекту ОАО «Липецкстальпроект» шахтных печей. Показано, что классические шахтные печи имеют неоптимальную схему теплообмена в зоне обжига и значительную неравномерность распределения газов по сечению печи, что приводит к недожогу извести в его центральной зоне. Предложено устранить указанные недостатки путем сооружения в зоне обжига крестообразного керамического керна, внутри которого выполнены жаровые каналы с окнами для выхода газов в слой известняка. Описаны конструкция керна и преимущества его установки.

**Ключевые слова:** шахтные печи обжига известняка, газораспределительный керн, повышение качества извести.

В зависимости от назначения применяемой в металлургии извести к ней предъявляют разные требования, диктуемые технологией передела. Как показывает анализ результатов исследований диссоциации известняков различных месторождений, необходимые свойства извести (содержание активных компонентов, реакционная и флюсующая способности, степень обжига и др.) могут быть получены при правильном выборе и строгом соблюдении достаточно узких температурных и временных параметров процесса обжига. Таким образом, технико-экономические и качественные показатели этого процесса в существенной мере определяются техническим совершенством и управляемостью обжигового агрегата.

В промышленности для обжига известняка широко применяются шахтные печи, работающие на твердом, жидком и газообразном топливе, – в них производится более половины извести. Часть пересыпных печей, работающих на коксе, переводят на отопление природным или смешанным газом. При этом технический уровень

и, соответственно, показатели работы таких печей в основном не отвечают современным требованиям.

Существующие шахтные печи для обжига известняка имеют традиционную компоновку: в футерованной шахте расположены зоны подогрева, обжига известняка и охлаждения извести. Эффективность работы шахтной печи в значительной мере определяется условиями совместного протекания процессов горения топлива, теплообмена, диссоциации карбонатов. Разработка рациональных тепловых схем связана главным образом с обеспечением требуемого режима обработки материала при минимальном расходе топлива. В настоящее время основной схемой организации процесса в шахтных печах является противоток. Согласно теории теплообмена противоточная схема наиболее выгодна в тепловом отношении (при отсутствии эндометрических процессов), так как она обеспечивает минимальные потери тепла с отходящими газами.

Аэродинамический режим оказывает решающее влияние на процесс обжига известняка в шахтной печи.



При заполнении шахты известняком объем межкускового пространства у стен всегда больше, чем в центральной части. В связи с этим аэродинамическое сопротивление шахты, заполненной материалом, в центре всегда выше, чем на периферии. Это явление, называемое пристенным эффектом, приводит к неравномерному распределению скорости газового потока, перепаду температур в пределах поперечного сечения шахты, достигающему 400–500 °С, и, как следствие, к перерасходу топлива, а также снижению качества получаемой извести.

Анализ устройства и работы находящихся сегодня в эксплуатации противоточных шахтных печей для обжига известняка выявил возможность поднять их технико-экономические показатели до уровня лучших мировых образцов путем внесения соответствующих конструктивных изменений.

При использовании газообразного топлива в шахтных печах возникает необходимость организовать оптимальную схему теплообмена в зоне обжига и равномерное распределение топлива или газа-теплоносителя по горизонтальному сечению печи. Находящиеся сегодня в эксплуатации шахтные печи цилиндрической формы имеют внутренний диаметр в зоне обжига от 2,4 до 6,2 метра. Как показывают исследования, при периферийном подводе газа к таким печам не удастся достичь его перемешивания с воздухом до однородности в нужном соотношении, что приводит к перепаду температур по сечению печи, перерасходу топлива и снижению качества извести.

Особенность новых печей обжига известняка, разработанных в ОАО «Липецкстальпроект», заключается в следующем. Шахтная противоточная печь имеет три технологические зоны: зону обжига, где происходит декарбонизация известняка в интервале температур 870–1250 °С, и две утилизационные зоны – подогрева и охлаждения.

В зоне охлаждения физическое тепло готовой продукции передается воздуху, поступающему на горение в зону обжига, и таким образом полностью возвращается в процесс. В зоне подогрева тепло газов, покидающих зону обжига, передается холодному известняку и обеспечивает его подогрев до температур, при которых активизируется процесс декарбонизации.

В зонах охлаждения и подогрева противоточная схема является оптимальной, так как позволяет завершить процесс теплообмена. В зоне обжига для оптимизации тепловой работы применена имитация прямоточной схемы теплообмена, для чего предусмотрена подача большей части топлива (около 60 %) в верхний ярус отопления печи и лишь 40 % – в нижний. Причем через керновые отверстия верхнего и нижнего ярусов подаются продукты полного сгорания газа с температурой 1250–

1300 °С, полученные в выносных топках, а на периферии через горелки может подаваться природный газ для полного или неполного сжигания. В последнем случае газ сгорает в слое известняка. В верхнем ярусе температура газов в слое известняка достигает 1350–1400 °С. Однако, поскольку к этому уровню подходит известняк со степенью декарбонизации, не превышающей 40–50 %, активно идет процесс диссоциации с поглощением тепла, благодаря чему пережога извести не происходит. В нижнюю же часть зоны обжига (нижний ярус), где процесс декарбонизации заканчивается и теплотребление ограничено, подается меньшая часть топлива, которое сжигается в выносных топках при температуре 1200–1250 °С.

Для равномерного распределения подачи тепла по сечению печи применено газораспределительное устройство (кern) крестообразной формы, изготовленное из периклазохромитового огнеупорного кирпича. Внутри керна выполнены каналы с окнами для выхода газов в слой материала.

Первой по такой технологии была реконструирована шахтная известеобжиговая печь № 1 ООО «Николаевский глиноземный завод» (ООО «НГЗ») с переводом ее на отопление природным газом (вместо мазутного). Рабочий диаметр этой печи (по футеровке) 4,3 м. С целью равномерного распределения газа по сечению печи установлен газораспределительный kern крестообразной формы (рис. 1). Для повышения механической прочности при высоких температурах в качестве связующего применен огнеупорный СВС-мертель. Жаровые каналы расположены в два яруса: нижний совпадает с нижней границей зоны обжига, верхний – на 2 м выше (приблизительно на уровне середины зоны обжига). На входе в каждый жаровой канал расположена выносная топка, позволяющая качественно сжигать газ в интервале коэффициентов расхода воздуха от 0,6 до 2,0. Кроме того, в верхнем и нижнем ярусах размещены периферийные горелки для подвода газа и сжигания его в слое известняка.

После запуска печь показала неплохие результаты, и аналогичная реконструкция была выполнена на двух других печах.

На печах № 1, 2 и 3 ООО «НГЗ» (рис. 2) были отработаны режимы в интервале производительности от 150 до 220 т/сутки; расход условного топлива – на уровне 130–145 кг у.т. на 1 т извести; содержание  $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{акт}}$  – на уровне 92–94 %. Капитальный ремонт на этих печах производится с периодичностью раз в 5–7 лет (по данным завода).

В дальнейших реконструкциях известеобжиговых печей вместо периферийных горелок были применены выносные топки полного сжигания.



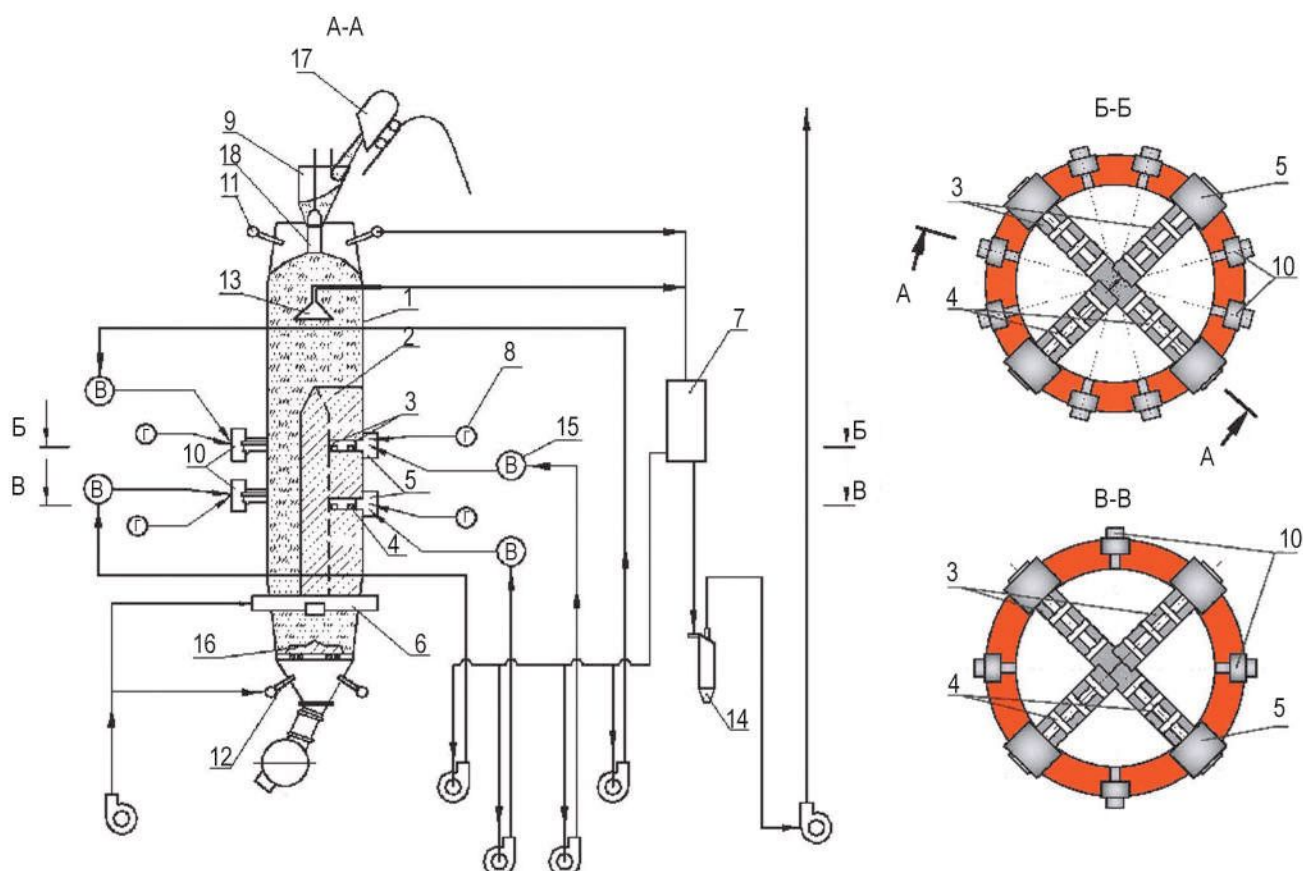


Рисунок 1 – Схема распределения газа и воздуха по печи № 1 ООО «НГЗ»:

1 – шахта печи; 2 – газораспределительный керн; 3 – жаровой канал керна; 4 – отверстия в керне для выхода продуктов сгорания в слой материала; 5 – керовая топка; 6 – воздухоохлаждаемая балка с узлом центрального подвода воздуха на охлаждение; 7 – рекуператор; 8 – коллектор природного газа; 9 – загрузочное устройство; 10 – периферийная горелка; 11 – периферийный отвод газа; 12 – штуцеры ввода воздуха в приемный бункер извести; 13 – центральное газоотводящее устройство; 14 – система газоочистки; 15 – воздушные коллекторы верхнего и нижнего ярусов; 16 – разгрузочное устройство; 17 – скиповый подъемник; 18 – формирующий конус



Рисунок 2 – Печи обжига известняка на ООО «Николаевский глиноземный завод», г. Николаев, Украина

Эффективность применения выносных топок (как керовых, так и периферийных) подтвердилась на печах ОАО «Северский трубный завод» (ОАО «СТЗ»), расположенного в г. Полевской Свердловской области (рис. 3). Даже в процессе пуска наладки, когда в связи с модернизацией механизмов загрузки и выгрузки производительность печи не превышает 50 % от номинальной, при работе на одних выносных керовых топках печь не зависает, не образуются свары, нет пережога, хотя время пребывания материала в зоне обжига вдвое больше номинального значения.

Кроме того, применение выносных топок полного сжигания позволяет повысить давление в печи для более эффективного преодоления гидравлического сопротивления слоя, что обеспечивает работу печи с использованием более мелких фракций (20–60 мм) при заданной производительности и степени обжига не менее 90–94 %  $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{акт}}$ . Потребление такой извести в металлургии (в дуговых сталеплавильных печах





**Рисунок 3 – Цех обжига известняка на ОАО «Северский трубный завод», г. Полевской, Свердловская обл., РФ**

и установках печь-ковш) составляет 44–46 кг/т металла против общепринятых 60 кг/т.

Аналогичная работа с использованием выносных топок была выполнена на ОАО «Ижсталь», г. Ижевск (рис. 4), на известняке Пугачевского месторождения (фракции 45–60 мм). Этот известняк характеризуется разрушением при нагревании и большой истираемостью. Была получена известь активностью  $\geq 92\%$ , при которой количество пыли и мелкой фракции в пространстве печи достигает 20–25 % (в этом случае аэродинамический режим становится менее предсказуемым, что усложняет обжиг). Образование мелких фракций приводило к закупориванию секторов печи, зависанию и «козлению» (сводообразованию), а также к самосходу извести со стола выгрузки. Несмотря на все эти трудности, печь была запущена, и в настоящее время она работает в стабильном режиме.

Нормальное функционирование печи с таким известняком при высокой активности извести стало возможным исключительно благодаря хорошей управляемости и предсказуемости работы печи с выносными топками.

Технология получения высококачественной извести с высокой реакционной способностью на печах ОАО «Липецкстальпроект» предусматривает:

- сооружение в печи газораспределительного керна, отсекающего центральную часть и изменяющего направление движения известняка;
- двухуровневый ввод природного газа: в верхний ярус – до 50–60 % топлива при температуре 1250–1350 °С, в нижний ярус – до 40–50 % топлива при температуре 1150–1250 °С;
- уменьшение радиальной направленности температурного поля за счет применения газораспределительного керна;
- стабилизацию температурного поля в зоне охлаждения путем поддержания определенного количественного соотношения между воздухом, вводимым через разгрузочный бункер, и вентиляторным



**Рисунок 4 – Печи обжига известняка на ОАО «Ижсталь», г. Ижевск, РФ**

воздухом, подаваемым через центральный узел (опорную балку);

- отбор отходящих газов как из верхней части колошника по периферии, так и из-под слоя материала через центральное газоотводящее устройство (зонт);
- подачу в печь продуктов сгорания с требуемой температурой, достигаемой благодаря использованию газогорелочных устройств с полным сжиганием топлива;
- применение рекуператора для подогрева воздуха, идущего на горение.

Печи конструкции ОАО «Липецкстальпроект» работают без водяного охлаждения и имеют следующие характеристики:

- расход условного топлива – 130–145 кг/т извести;
- расход электроэнергии – 24–28 кВт·час/т извести;
- активность получаемой извести – 92–94 %.

По указанной технологии были выполнены следующие разработки:

1. Реконструированы три печи обжига известняка производительностью 200 т/сут извести в ООО «Николаевский глиноземный завод». В результате достигнуты следующие показатели: производительность увеличилась на 30 %, расход газа снизился на 40 %, качество извести выросло на 10 %.

2. Реконструирована печь обжига известняка производительностью 100 т извести в сутки на Узбекском меткомбинате, г. Бекабад, Узбекистан. Производительность увеличилась на 20 %, расход газа снизился на 20 %, качество извести выросло на 10 %.

3. Построен цех обжига известняка в составе двух печей производительностью 100 т извести в сут-



ки в ОАО «Северский трубный завод», г. Полевской Свердловской области. Получаемая там известь считается лучшей в холдинге «ТМК»: ее расход составляет 44 кг на тонну стали, в то время как на других предприятиях аналогичного профиля этот показатель достигает 55–60 кг на тонну стали.

4. Проведена реконструкция печи обжига известняка производительностью 90 т извести в сутки в ОАО «Ижсталь», г. Ижевск.

На Старооскольском комбинате строительных материалов для получения извести было принято решение построить шахтную печь итальянской фирмы Terruzzi Fercalx SPA производительностью 200 т извести в сутки. Эта печь состоит из вертикальной футерованной шахты прямоугольного поперечного сечения, скипового загрузочного устройства, двухклапанного механизма загрузки, выгрузного устройства, двух теплообменных аппаратов для подогрева воздуха, идущего на сжигание топлива в печи, трех вентиляторов для подачи воздуха в печь под давлением, дымососа и двух рукавных фильтров, служащих для очистки от пыли печных отходящих газов и запыленного воздуха перед их удалением в атмосферу. В шахтной печи при помощи расположенных в зоне обжига пяти балочных горелок сжигается природный газ. Балочные горелки установлены в два яруса: две горелки находятся в конце зоны обжига и три – на 2–2,5 м выше.

Аналогичные печи были построены в Российской Федерации – в ОАО «Угловский известковый комбинат» (Новгородская область) и ЗАО «Известь Сысерти» (Свердловская область).

Опыт работы печи Fercalx показывает, что заявленных фирмой проектных показателей достичь затруднительно. Это вызвано целым рядом причин. Во-первых, конструкция печи не исключает сегрегацию материала. Во-вторых, балочная система отопления препятствует равномерному сходу шихты, вследствие чего приходится производить выгрузку извести из печи по сечению шахты с разной скоростью. Таким образом, равномерного обжига извести в печи нет. Обжигальщики постоянно регулируют расход газа по длине балок для предотвращения подвисаний шихты, что не позволяет добиться стабильной работы печи. При попытках повысить качество извести начинается процесс образования сваров. Их сходу препятствуют балочные горелки, в результате чего происходит подвисание шихты и нарушение режимов работы.

Руководством Старооскольского комбината строительных материалов совместно со специалистами ОАО «Липецкстальпроект» было принято решение об усовершенствовании печи Terruzzi Fercalx SPA путем установки в ней

пассивного (без подвода тепла) крестообразного керамического газораспределительного керна. Это решение было продиктовано анализом опыта работы аналогичных печей.

Установка крестообразного керамического керна, по мнению специалистов, позволила внести следующие коррективы:

- исключить или свести к минимуму возможность «козления» печи;
- интенсифицировать газовый обмен в противоточной части печи;
- исключить центр печи из процесса обжига, тем самым сведя к минимуму недожог;
- разделить поток известняка на четыре части, исключив или сведя к минимуму явление сегрегации;
- выровнять температурное поле по сечению печи, добиваясь разницы температур не более 40–50 °С;
- снизить температуру отходящих газов на колошнике до 150–200 °С.

ОАО «Липецкстальпроект» разработана рабочая документация установки керна крестообразной формы, оси которого совпадают с осями печи. КERN весом 50 т установлен на арочные основания, опирающиеся, в свою очередь, на стены печи. Стенки керна входят в стенки печи с зазором, обеспечивающим свободное перемещение при деформациях в местах стыковок из-за разницы температурных условий. Основания стенок керна в зоне обжига выполнены на разных уровнях: одна стенка (высотой 2,5 м) выше нижнего уровня балочных горелок, вторая (6 м) – выше верхнего уровня балочных горелок (рис. 5).



Рисунок 5 – Установка керна в печи Terruzzi Fercalx SPA в ООО «Старооскольский комбинат строительных материалов», г. Старый Оскол, РФ

Керн выполнен из огнеупорного кирпича марки ПХСУТ, поставленного фирмой «Магнезит»,



г. Сатка Свердловской области. Кладочный раствор – СВС-мертель марки КР-ХП-1 – разработан и поставлен фирмой «Мавр», г. Жуковский.

В 2009 г. строительство данной печи было завершено. После запуска она начала давать продукцию – известь высокого качества активностью  $\geq 90\%$ ; время гашения – 2–5 мин; остаточное содержание  $\text{CO}_2$  – 5–6 %. Производительность печи достигла проектной величины – 200 т извести в сутки (при расходе природного газа 135–140 кг у.т./т продукции).

К настоящему времени ОАО «Липецкстальпроект» разработана документация более чем на двадцать печей обжига известняка по данной технологии (производительностью 25–250 т извести в сутки). Часть из этих печей уже начали строить. Разработана также конструкция печей производительностью 300–800 т извести в сутки.

Технические решения, заложенные в проектах печей ОАО «Липецкстальпроект», запатентованы. Печи, работающие по технологии ОАО «Липецкстальпроект», являются агрегатами с относительно невысоким уровнем вредных выбросов, чему способствуют рассредоточение зоны обжига по всему сечению шахты, расположение зоны высоких температур преимущественно в зоне известняка, а не извести, а также сравнительно низкие температуры сгорания природного газа в слое материала и в выносных топках керна.

В шахтных печах основное количество пыли, попадающей в отходящие газы, образуется при сходе известняка с конуса системы загрузки и его рассыпании по поверхности уровня засыпи. Эта пыль подхватывается и уносится в газоотводящий тракт. В печах ОАО «Липецкстальпроект» конструкция загрузочно-го устройства с внутренним распределяющим бункером-

питателем позволяет снизить унос пыли в 1,5–2 раза. Концентрация пыли на выходе из колошника составляет 0,6–1,5 г/м<sup>3</sup>; массовая доля  $\text{CO}$  в продуктах сгорания – менее 0,01 % (следы), а массовая доля  $\text{NO}_x$  – 53 мг/м<sup>3</sup>.

Реализованные на практике типовые схемы и оригинальные технические решения поставили печи ОАО «Липецкстальпроект» в один ряд с лучшими мировыми образцами как по технико-экономическим показателям (удельному расходу условного топлива, степени и качеству обжига), так и по экологическим. Основные показатели работы известково-обжигательных печей представлены в табл. 1.

Подробное описание печей ОАО «Липецкстальпроект» приведено в [1].

## ВЫВОДЫ

1. Классические шахтные печи обжига известняка имеют неоптимальную схему теплообмена в зоне обжига и значительную неравномерность распределения газов по сечению печи, что приводит к недожогу и пережогу извести. Указанные недостатки можно устранить путем сооружения в зоне обжига крестообразного керамического керна, внутри которого выполнены жаровые каналы с окнами для выхода газов в слой известняка.

2. Установка керамического керна в шахтных газовых печах обжига известняка позволяет:

- свести к минимуму возможность сводообразования;
- интенсифицировать газовый обмен в противоточной части печи;
- исключить центр печи из процесса обжига, сведя к минимуму недожог;
- разделить поток известняка на четыре части для минимизации явления сегрегации;

**Таблица 1 – Показатели работы известково-обжигательных печей**

Тип печи	Средняя производительность, т/сут	Активность извести, % ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) <sub>акт</sub>	Удельный расход	
			усл. топлива, кг/т	электроэнергии, кВт·час/т
Шахтные пересыпные на коксе	40–50	70–80	175–185	14–16
Шахтные пересыпные на коксе	300–400	76–85	124,3–135	9–16
Шахтные на мазуте	80–100	65–75	175–185	30–40
Шахтные на газе	60–80	70–75	155–165	20–25
Шахтные щелевые 1,8х8,0м на газе	120–150	80–87	130–165	20–25
Шахтные круглого сечения с газораспределительным керном ОАО «Липецкстальпроект»	5–220	90–94	130–145	25–28
Двухшахтные прямо-противоточные регенеративные (ППР) фирмы «Мерц»	150–400	88–92	125–135	22–25
Вращающиеся 2,7х65,6 м и 3,6х75,0 м, оборудованные котлом-утилизатором и рекуператорным холодильником	200–380	88–92	270–276	32–45
Печи кипящего слоя (КС)	400	82	190	88



- выровнять температурное поле по сечению печи, добиваясь разницы температур не более 40–50 °С;
- снизить температуру отходящих газов до 150–200 °С;
- уменьшить объем вредных выбросов.

3. Выбор технологии сжигания газа (полное или диффузионное) зависит от размеров фракций и свойств обжигаемых известняков, теплотворной способности газа, характеристик извести, которые необходимо получить, и других условий.

Розглянуто особливості процесу випалу вапняку в шахтних печах з газорозподільним керамічним керном на основі побудованих за проектом ВАТ «Липецькстальпроект» шахтних печей. Показано, що класичні шахтні печі мають неоптимальну схему теплообміну в зоні випалу і значну нерівномірність розподілу газів по перетину печі, що призводить до недопалу вапна в його центральній зоні. Запропоновано усунути вказані недоліки шляхом спорудження в зоні випалу хрестоподібного керамічного керна, всередині якого виконані жарові канали з вікнами для виходу газів у шар вапняку. Описано конструкцію керна і переваги його установки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Монастырев А.В.** Печи для производства извести : справочник / А.В. Монастырев, Р.Ф. Галиахметов; [под общей редакцией А.В. Монастырева]. — Воронеж : Истоки, 2011. — 391 с.

*Поступила в редакцию 17.07.2013*

One be examined features of limestone calcining in shaft furnaces with gas-distribution ceramic core based on shaft furnaces constructed by project of JSC "Lipetskstalproekt". One be shown that standard shaft furnaces have non-optimal scheme of heat exchange in calcining area and significant irregularity of gas distribution along furnace cross-section, that results to underburning of lime in its central area. One be proposed to remove these weaknesses by constructing of cross ceramic core in calcining area inside of this core one be made flame channels with doors for gas discharge in limestone layer. One be described core structure and advantages of its installation.