

УДК 66.041.44:665.612

Г.Ф. ПШЕМЫСКИЙ, главный технолог отдела, В.В. КОМПАНЕЦ, начальник отдела

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр metallургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## СОКРАЩЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ЗА СЧЕТ ПЕРЕВОДА ИЗВЕСТКОВО-ОБЖИГОВЫХ ПЕЧЕЙ НА ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО

Представлены технологические решения, направленные на сокращение использования природного газа за счет перевода существующих известково-обжиговых печей на твердое топливо. Описаны мероприятия по снижению расхода топлива на получение готовой извести.

**Ключевые слова:** известково-обжиговые печи, природный газ, твердое топливо, экономия.

С ежегодным подорожанием природного газа для металлургических предприятий Украины актуальной становится проблема перевода существующих известково-обжиговых печей на альтернативные виды топлива.

Для повышения энергоэффективности известково-обжиговых печей ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработаны технико-коммерческие предложения по модернизации шахтных печей с переводом их как на частичную, так и на полную замену природного газа угольным топливом.

При переводе существующих шахтных известково-обжиговых печей ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (ПАО «АМК») на твердое топливо предложены следующие мероприятия:

- модернизация загрузочно-распределительного устройства в шахтной печи для равномерного распределения известняка и твердого топлива по поперечному сечению шахты печи;
- установка более мощного вентилятора для улучшения охлаждения обожженной извести;
- установка трехклапанного шлюзового выгрузочного устройства для выгрузки извести из печи, что обусловлено увеличением давления воздуха, подаваемого на охлаждение обожженной извести;
- дополнительная установка дымососа для создания более высокого разрежения в печи.

Все вышеперечисленные мероприятия позволяют улучшить качество получаемой извести и снизить потребление энергоресурсов при ее обжиге.

Одновременно с переводом шахтных печей ПАО «АМК» на твердое топливо решались проблемы защиты окружающей среды от вредных выбросов дооснащением пылеочистных установок рукавными фильтрами и системой дожигания CO, обеспечивающими высокую степень очистки (концентрация пыли в дымовых газах после их очистки –  $\leq 20 \text{ мг}/\text{м}^3$ ).

В настоящее время все четыре шахтных печи конструкции НИИСтройпроекта (рис. 1) производительностью по 170–200 т/сут обожженной извести работают на природном газе.

Характеристика известняка и обожженной извести (для агломерационного цеха):

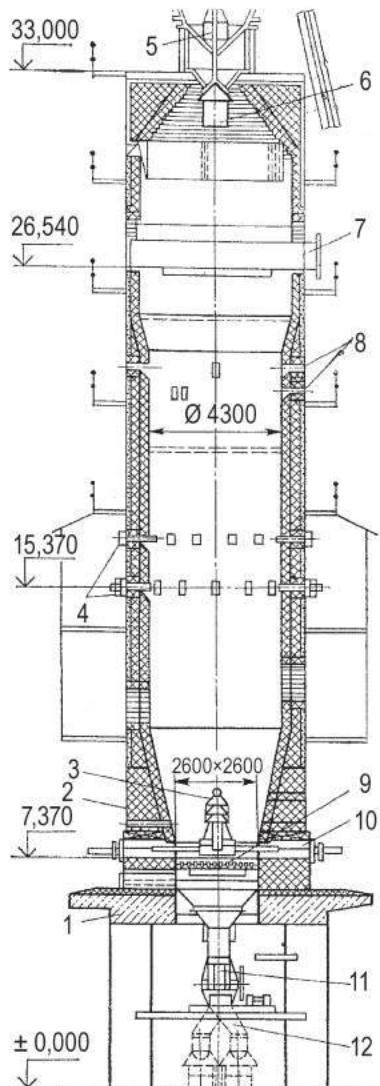
- шахтные печи работают на известняках Комсомольского и Новотроицкого месторождений;
- фракция известняка, загружаемого в шахтные печи, – 40–80 мм;
- исходный известняк подвергается прохождению для отсева фракции менее 40 мм (до 14–20 %) и более 80 мм (до 25 %);
- коэффициент расхода известняка в шахтных печах – 1,815 т/т;
- влажность известняка –  $\leq 2 \%$ ;
- насыпная плотность известняка – 1,5–1,6 т/м<sup>3</sup>;
- содержание в обожженной извести CaO+MgO  $\geq 85\text{--}86 \%$ ;
- удельный расход условного топлива – 150–160 кг ут./т извести, давление природного газа – 2500–3000 даПа.

Требования к обожженной металлургической извести для конвертерного производства согласно ОСТ 14-16-165-85: CaO+MgO  $\geq 92 \%$ ; SiO<sub>2</sub> < 2%; S < 0,08%; ПППМ  $\leq 8 \%$ ; крупность – 10–50 мм.

Система ввода газообразного топлива в печь состоит из осевой (центральной) конусной горелки, укрепленной на балке-рассекателе, механизма выгрузки и двух ярусов горелок типа ГФИ по 12 шт. в ярусе [1]:

- расстояние между ярусами горелок – 2 м;
- горелки ГФИ заглубляют в материал на 0,3 м;
- рециркуляционные газы содержат не более 6 % кислорода.

Для равномерного распределения дымовых газов по поперечному сечению шахты печи оснащены, кроме



**Рисунок 1 – Шахтная печь конструкции НИИСтройпроекта, работающая на газообразном топливе, производительностью 200 т/сут:**

1 – фундаментная плита; 2 – кожух; 3, 4 – горелки;  
 5 – механизм загрузки; 6 – клапан; 7 – короб; 8 – отверстия  
 для установки преобразователей КИП; 9 – механизм  
 выгрузки; 10 – балка-рассекатель; 11 – затвор; 12 – течка

двух ярусов периферийных горелок, центральной горелкой, в которую по отдельным трубопроводам подаются природный, рециркуляционный и дымовой газы:

- с помощью дымососа рециркуляционные газы через трубопровод и отверстия подаются в камеру центральной горелки, из которой равномерно по окружности ее среднего защитного конуса входят в слой материала зоны охлаждения – рециркуляционные газы вводят из расчета 2–3  $\text{м}^3$  на 1  $\text{м}^3$  природного газа;
- природный газ через отверстия поступает в камеру, из которой через сопла конуса и отверстие в диске выходит в шахту печи – газ поступает из камеры рав-

номерно по периферии верхнего защитного конуса в межкусковое пространство зоны охлаждения.

Смесь, состоящая из природного и рециркуляционного газов и воздуха, поступает в зону охлаждения с температурой 900–1000 °C.

Температура в месте расположения горелок контролируется двумя термопарами типа ТХА; разжение измеряется датчиком. Козырьки защищают приборы от повреждения кусками известняка.

Первичный воздух (29 %) на горение подается в периферийные горелки, а его смесь с рециркуляционными газами – вентилятором в центральную горелку через балку-рассекатель.

Дымовые газы отсасываются из печи дымососом и подвергаются очистке в батарейном циклоне с КПД – 0,85.

В осевую (центральную) горелку подается 60–65 % общего расхода природного газа, а в периферийные – 35–40 %.

Если рециркуляционные газы будут содержать 12–15 % кислорода (из-за подсосов воздуха через механизм загрузки) – их использование в центральной горелке приведет к воспламенению природного газа в зоне охлаждения и выведет из строя центральную горелку, поэтому рециркуляционные газы с температурой  $\leq 250$  °C отбираются через заглубленные в материал фурмы, расположенные в шахте на 0,5–1 м ниже уровня загрузки.

Преимущества использования рециркуляционных газов заключаются в следующем:

- увеличивая их количество до соотношения 1:3 (воздух:дымовые газы), зону обжига смещают в верх шахты;
- снижая их количество до соотношения 1:2 (воздух: дымовые газы), зону обжига опускают, что позволяет управлять процессом обжига в нужном направлении.

Воздух вводят в печь в соотношении 25 % первичного (в периферийные горелки) и 75 % вторичного – через зону охлаждения.

Технологические зоны шахтной печи, работающей на газообразном топливе, характеризуются следующими показателями:

1. Зона подогрева составляет 30–40 % полезной высоты шахты, что позволяет снизить температуру отходящих газов до 300–350 °C (с учетом подсосов холодного воздуха – до  $\leq 200$  °C) и подогревать известняк в конце зоны до температуры 900 °C.

2. Выходящие из зоны подогрева печные газы при рациональном режиме содержат 24–26 %  $\text{CO}_2$  и 3–4 %  $\text{O}_2$ .

3. Зона обжига занимает 35–40 % полезной высоты шахты. В этой зоне происходит сжигание природного газа и диссоциация известняка.

4. Зона охлаждения занимает 25–30 % полезной высоты шахты; в этой зоне известь охлаждается до температуры 80–120 °C перед ее поступлением в механизм выгрузки.

5. Среднюю температуру газов в зоне обжига поддерживают на уровне 1100–1200 °C.

6. Разрежение, даСа:

- в верхней части шахты печи – 200;
- в средней части шахты – 100;
- в нижней части шахты – 40.

В результате неблагоприятных условий смешивания газа и воздуха в слое коэффициент избытка воздуха поддерживают на уровне  $\alpha = 1,2\text{--}1,3$  [2].

Распределение газа по поперечному сечению шахты в зоне обжига зависит от равномерного фракционного состава известняка по этому сечению, конструкции горелок и их расположения в шахте.

Температура в зоне обжига колеблется в пределах ±50 °C, что свидетельствует о равномерном распределении природного газа и воздуха в шахте.

Потери тепла с отходящими из печи дымовыми газами ~15 %. Потери тепла с химическим недожогом топлива достигают ~8 %, что свидетельствует о неполном смещивании газа с воздухом в процессе его сжигания.

Теоретические основы снижения удельного расхода теплоты на обжиг известняка в шахтных пересыпных печах [3] заключаются в утилизации тепла – продуктов реакции (извести и углекислого газа). Принципиальные схемы организации процесса для идеального случая шахтной пересыпной печи с несколькими уровнями ввода топлива представлены на рис. 2–4.

Известняк, подлежащий обжигу, подается в зону подогрева, из которой направляется в зону обжига, откуда газообразные продукты реакции отводятся в зону охлаждения углекислого газа, а твердые – в зону охлаждения извести. Расходуемое на реакцию декарбонизации тепло направляется в зону обжига с нагретым теплоносителем. Из этой зоны отработанный теплоноситель поступает в зону подогрева известняка.

Для охлаждения углекислого газа и извести в соответствующие зоны подается холодный теплоноситель, который затем направляется в зону подогрева известняка. Охлаждение извести производится в движущемся плотном слое в условиях равномерного распределения воздуха по площади слоя и обеспечения необходимого и достаточного режима охлаждения.

Для завершенности процесса охлаждения извести требуется слой бесконечно большой высоты и подачи воздуха на охлаждение в объеме, равном теплоте диссоциации известняка, что в промышленных условиях обеспечить невозможно.

В реальных условиях процесс охлаждения сопровождается потерями в окружающую среду из-за незавершенности процесса материала – воздух на выходе из теплообменника.

Таким образом, в шахтной печи должно быть обеспечено:

- разложение известняка до заданной степени;
- сжигание топлива с коэффициентом расхода воздуха, близким к единице;
- исключение химического и механического недожога;
- предотвращение спекания материала.

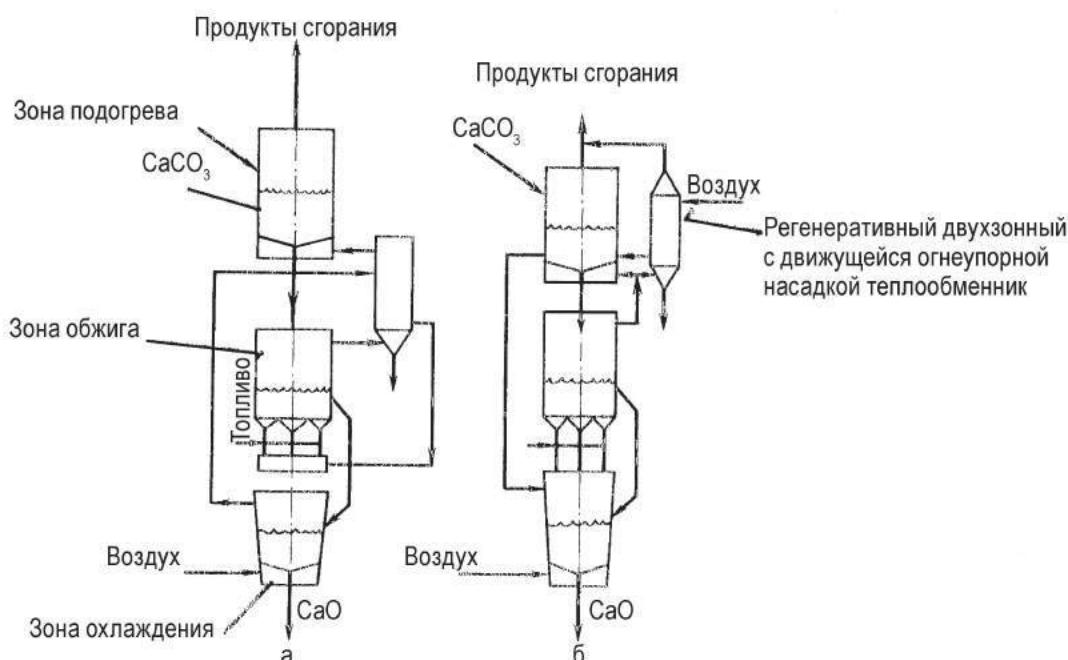


Рисунок 2 – Принципиальные технологические схемы известковых печей, работающих с регенерацией теплоты:  
а – подогрев воздуха, отходящего из охладителя; б – нагрев части холодного воздуха, используемого в процессе

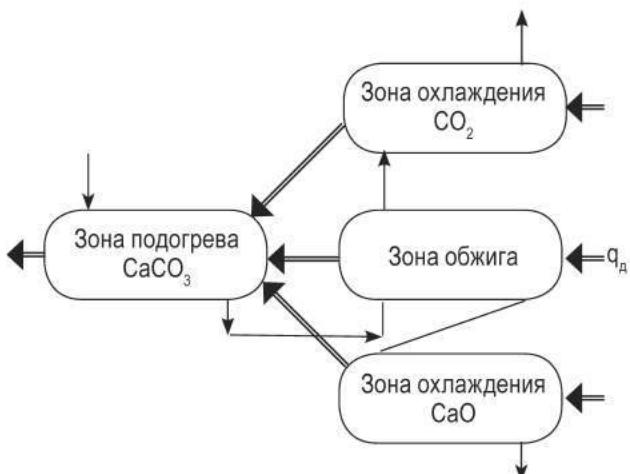


Рисунок 3 – Принципиальная схема организации процесса обжига

Этим условиям отвечает шахтная печь сложного профиля с рассредоточенной по высоте слоя системой ввода и горения топлива, обеспечивающей температуру ниже температуры спекания материала в результате подвижности обжигаемого материала. Лимитирующим условием организации процесса является распределение охлаждающей и греющей среды по поперечному сечению печи. Теплопотери, связанные с незавершенностью процесса теплообмена в шахтных печах, составляют 10–30 %.

В шахтных печах граница между зоной обжига и зоной подогрева находится на уровне, где температура материала равна температуре диссоциации для данных условий обжига. Поскольку температура материала в зоне обжига  $>900^{\circ}\text{C}$ , абсолютная температура продуктов горения, поступивших в зону подогрева печи, значительно выше температуры диссоциации.

На этом же уровне температура продуктов сгорания превышает температуру материала на 1–30 °C, что и определяет незавершенность теплообмена в системе зона обжига – зона подогрева известняка.

Таким образом, незавершенность теплообмена, численно равная разности температур материала и продуктов сгорания на уровне, где температура материала равна температуре диссоциации, определяет дополнительные потери тепла на стадии подогрева известняка.

При коэффициенте расхода воздуха  $>1$  образуется дополнительный объем продуктов сгорания, что приводит к увеличению их водяного эквивалента на стадии подогрева и, следовательно, к потерям теплоты на этой стадии.

Продукты сгорания топлива и углекислый газ, отходящие из зоны обжига в зону подогрева, содержат большее количество теплоты, чем может воспринять известняк.

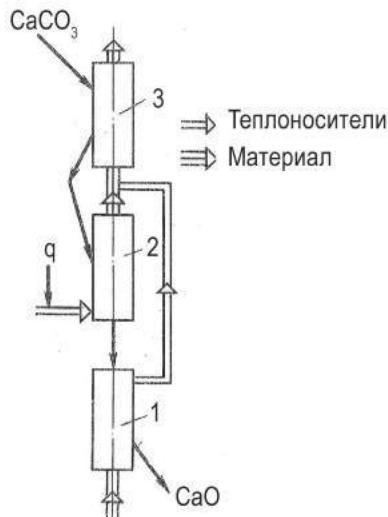


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема известковой печи:

1 – зона охлаждения; 2 – зона обжига; 3 – зона подогрева

Анализ данных, полученных при эксплуатации шахтных печей, позволяет сделать следующие выводы:

- обжиг известняка необходимо производить при минимально возможной температуре, что приведет к уменьшению водяного эквивалента греющей среды зоны подогрева и обеспечит снижение водяного эквивалента процесса подогрева известняка;
- при подогреве известняка в движущемся плотном слое температура обжига не влияет на расход тепла, поскольку в нижней части зоны подогрева происходит частичный обжиг известняка;
- обжиг известняка следует проводить при минимально возможном коэффициенте расхода воздуха, что обеспечивает снижение объема продуктов сгорания, поступающих в зону подогрева известняка;
- процесс обжига следует организовать таким образом, чтобы степень обжига была минимальной, но удовлетворяющей требованиям технологического процесса;
- при снижении степени обжига увеличивается водяной эквивалент материала, что при прочих равных условиях снижает температуру продуктов сгорания, уходящих из зоны подогрева известняка;
- с повышением влажности известняка выше критического значения увеличивается расход топлива на обжиг;
- удельное количество теплоты, расходуемой на обжиг известняка, зависит от величины пылеуноса из печи и в отдельных случаях может достичь 10 %.

Адиабатическая выдержка извести, предшествующая охлаждению, позволяет использовать избыточную теплоту перегретых частиц извести на диссоциацию

известняка, содержащегося в полуобожженных частичках [4]. В адиабатический бункер следует подавать газовую среду, не содержащую углекислый газ и нагретую до температуры, превышающей 800 °C. В качестве такой среды используется минимальное количество воздуха, отбираемого из зоны охлаждения шахтной печи, обеспечивающего скорость его движения в адиабатическом бункере 0,1–0,15 м/сек.

Адиабатическая выдержка известняка, проводимая после зоны подогрева перед его поступлением в зону обжига, позволяет усреднить температуру материала по всему объему частицы, что увеличивает в последующей стадии обжига скорость теплопередачи к обжигаемому материалу (Патент № 58311, Румыния, 1975 г.; патент № 57670, Чехия, 1975 г.).

Особенности подогрева воздуха, используемого на горение, теплом продуктов сгорания, отходящих из зоны обжига, рассмотрены в работе [5]. При охлаждении в режиме движущегося плотного слоя известь охлаждается практически до температуры воздуха, подаваемого в зону. При этом воздух нагревается до температуры примерно 400 °C, что позволяет организовать «перекачку» тепла сверху вниз путем подогрева воздуха теплом продуктов сгорания, отходящих из зоны обжига в дополнительно устанавливаемом теплообменнике.

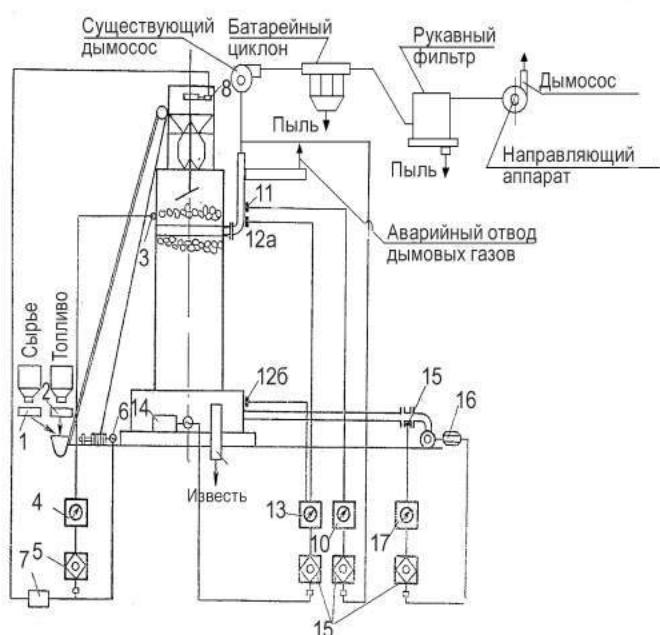
Применение трубчатого рекуператора для подогрева воздуха (шахтные кольцевые известково-обжиговые печи «Polysius и Bekenbacha») позволяет снизить удельное количество теплоты на получение 1 кг извести до 3770–3980 кДж. Дальнейшее снижение удельного расхода теплоты на производство извести до 3550 кДж/кг возможно за счет более высокого нагрева воздуха продуктами сгорания в двухзонном регенеративном теплообменнике с движущейся оgneупорной насадкой, а также снижения коэффициента расхода воздуха до 1,1.

Удельный расход топлива на обжиг известняка в шахтных пересыпных печах составляет не более 3770 кДж/кг извести, что соответствует уровню работы лучших известково-обжиговых печей. Такие показатели печи получают при ее стабильной работе в условиях равномерной загрузки фракцией известняка по поперечному сечению шахты и распределения топлива в слое шихты, т.е. отказе от послойной загрузки топлива и известняка. При этом факелы от горящих кусков топлива соприкасаются, и горящий ряд кусков топлива отделен от последующего по высоте расстоянием, равным высоте факела. Такое распределение обеспечивается при определенном соотношении размеров кусков обжигаемого известняка и применяемого топлива.

Исходный известняк и топливо заданного гранулометрического состава, предварительно перемешанные

посредством параллельного дозирования в ковш скрепового подъемника, загружаются в шахтную печь и затем равномерно распределяются по поперечному сечению шахты печи.

Весьма существенным является тщательный контроль и регулирование основных параметров работы каждой зоны шахтной печи с использованием системы АСУ ТП. Принципиальная схема автоматического контроля и регулирования работы шахтной известково-обжиговой печи приведена на рис. 5.



**Рисунок 5 – Схема автоматизации шахтной печи на твердом топливе:**

1, 2 – взвешивающие устройства сырья и топлива; 3 – измеритель уровня засыпки; 4 – вторичный прибор уровня засыпки; 5 – регулирующее устройство; 6 – привод скрепового подъемника; 7 – реле времени; 8 – привод поворота распределительного устройства; 9 – привод дроссельной заслонки; 10 – вторичный прибор давления в головке печи; 11 – датчик давления; 12a – датчик температуры отходящих газов; 12b – датчик температуры низа печи; 13 – вторичный регистрирующий прибор; 14 – привод выгрузочного устройства; 15 – датчик расхода воздуха; 16 – привод направляющего аппарата; 17 – вторичный прибор расхода воздуха

Подготовка известняка и топлива к обжигу в условиях централизованной добычи известняка производится на горнодобывающих предприятиях. В процессе транспортировки и перегрузки качество известняка в результате появления в нем мелочи ухудшается, что приводит к перераспределению греющей среды в объеме шахтной печи, а следовательно, увеличивает его аэродинамическое сопротивление и снижает качество получаемой извести.



Для выделения мелочи и получения окатанных частиц известняк следует обработать во вращающемся барабане в течение 10 мин, затем подвергнуть граничению, что позволит повысить производительность шахтной печи, снизить расход тепла на обжиг, улучшить качество получаемой извести и снизить пылеунос из печи. Такие же требования предъявляются к антрациту, фракционный состав которого должен быть в пределах 20–40 мм при диапазоне крупности обжигаемого известняка – 40–80 мм.

Предпочтительным является применение более дорогого кокса такого же зернового состава, что позволит сократить потери тепла с летучими веществами с 6,0–8,5 до 2,0 %.

В июне 2011 г. на известковом участке агломерационного цеха ПАО «АМК» проводился поэтапный эксперимент обжига доломитизированного известняка при совместной подаче газообразного (природный газ) и твердого топлива (антрацит марки «АМ»). Основные показатели тепловой работы известковой печи № 1 и химический состав проб

доломитизированной извести, отобранных в период проведения эксперимента, приведены в табл. 1.

При загрузке антрацита в известково-обжиговую печь № 1 расход природного газа был скорректирован в сторону уменьшения с 1000 м<sup>3</sup>/час до 250 м<sup>3</sup>/час, т.е. на 75 %.

Дозировка топлива в обоих экспериментальных периодах производилась вручную. Всего в известково-обжиговую печь было загружено 1856 сколов доломитизированного известняка и 171 т антрацита – удельный расход антрацита варьировался от 40,2 г до 120,2 кг/т извести. Суммарный расход природного газа на обжиг доломитизированного известняка за период эксперимента снижен на 142350 м<sup>3</sup>.

Максимально приемлемых сочетаний природного газа и твердого топлива, при котором известковая печь работает устойчиво с качественными показателями химического состава извести, удалось достигнуть при 50 % сокращении природного газа – 68,5 м<sup>3</sup> природного газа и вводе 85,4 кг твердого топлива на 1 т извести.

**Таблица 1 – Показатели работы известковой печи № 1**

Показатель	Ед. изм.	Период работы		
		01–20.06.2011 г.	21–23.06.2011 г.	14.07–01.08.2011 г.
Расход доломитизированного известняка	кг/т	1670	1670	1670
Расход газа	м <sup>3</sup> /час	1000–1050	500	250
	м <sup>3</sup> /т	137–144	68,5	34
Расход антрацита	кг/т изв-ти	–	85,4	120,2
Химический состав:				
SiO <sub>2</sub>	%	1,05	0,98	1,25
п.п.п.	%	8,90	4,35	15,80
S	%	0,09	0,13	0,15
CaO	%	75,90	80,00	71,40
MgO	%	11,50	12,10	10,00
(CaO+MgO)	%	87,40	92,10	81,40
CaO акт.	%	54,70	55,20	42,80
MgO акт.	%	8,00	13,80	6,00
(CaCH-MgO) акт.	%	62,70	69,00	48,80
Степень обжига:				
CaO	%	72,10	69,00	59,90
MgO	%	71,70	99,20	60,00
(CaO+MgO)	%	69,60	76,90	60,00
Количество непогасившихся зерен	%	26,90	25,90	27,20
Состав отходящего газа:				
O <sub>2</sub>	%	8,50	5,00	3,00
CO <sub>2</sub>	%	9,10	11,70	14,00
CO	%	0,60	0,90	1,01
Производительность печи по извести	кг/час	7,00	7,00	7,00
Приход теплоты от сжигания:				
• природного газа	кДж/час	35,70x10 <sup>6</sup>	17,00x10 <sup>6</sup>	–
• антрацита	кДж/час	–	17,30x10 <sup>6</sup>	–
Итого	кДж/час	35,70x10 <sup>6</sup>	34,30x10 <sup>6</sup>	–
Удельный расход теплоты	кДж/т	5,10x10 <sup>6</sup>	4,57x10 <sup>6</sup>	–

При повышении доли твердого топлива до 120,20 кг/т извести наблюдалась локальные спеки извести и наличие «недопала», что свидетельствует о неравномерном распределении твердого топлива по сечению шахты (несовершенная конструкция загрузочного аппарата).

По результатам работы печи при замене природного газа себестоимость извести составила 699,7 грн/т (при плановой себестоимости – 862,6 грн/т), экономия 862,60–699,79=162,81 грн/т.

При переводе печей № 1–4 на 100 % твердого топлива ожидаемая себестоимость должна составить 537,64 грн/т извести, при этом снижение себестоимости – 28,8 млн грн/месяц, или 347 млн грн/год – без учета капитальных и дополнительных эксплуатационных затрат на модернизацию шахтных печей и реконструкцию участка.

Из вышеприведенных показателей работы печи при совместной подаче газообразного и твердого топлива (антрацит марки «АМ») следует:

- в условиях известкового участка ПАО «АМК» оптимальное соотношение газ/твердое топливо составляет 50/50;
- по температурным показателям достигнут режим «мягкого» обжига, что свидетельствует о повышении MgO акт. с 8 % до 13,80 %;
- повышенное содержание S в извести – с 0,09 % до 0,15 %;
- повышенное содержание CO в отходящих газах, что свидетельствует о недостатке кислорода в зоне горения топлива;
- образование локальных спеков извести и наличие «недопала», свидетельствующее о неравномерном распределении твердого топлива по сечению шахты (несовершенная конструкция загрузочного аппарата), чем объясняется необходимость установки системы весодозирования твердого топлива и замены мелкого антрацита фракций 10–20 мм на фракции 20–40 мм.

Как следует из проведенных опытов, такая технология заключается в комбинированной работе действующих шахтных печей ПАО «АМК» на природном газе (50 % затрат тепла) и твердом топливе (также 50 % затрат тепла), при этом удельный расход теплоты снижается с  $5,1 \times 10^6$  до  $4,57 \times 10^6$  кДж/т обожженной извести.

Для обеспечения равномерного фракционного состава шихты в поперечном сечении шахты печи предусматривается модернизация загрузочно-распределительного устройства.

В связи с увеличением давления воздуха, подаваемого на охлаждение обожженной извести, проектируется модернизация с уплотнением трехклапанного шлюзового выгрузочного устройства шахтной печи.

Для снижения (с 300 до 20 мг/нм<sup>3</sup>) концентрации пыли, выбрасываемой в атмосферу после очистки дымовых газов в количестве 21 тыс. нм<sup>3</sup>/час (33 тыс. м<sup>3</sup>/час) с температурой 160 °С, предусматривается вторая ступень очистки – после существующих батарейных циклонов.

В существующем дымососе ДН-17-А электродвигатель мощностью 250 кВт и числом оборотов ротора 1500 об/мин заменяется менее мощным – 75 кВт. Производительность дымососа с учетом запаса – 45 тыс. м<sup>3</sup>/час при напоре 750 даПа; масса дымососа – 3,8 т.

Предусматривается установка более мощного вентилятора, подающего воздух на охлаждение обожженной извести, – модель ВР 120-28-8 производительностью 5,79–16,36 тыс. м<sup>3</sup>/час при напоре 835,6–674,2 даПа с электродвигателями мощностью 55 кВт с числом оборотов ротора 2400 об/мин, массой 824 кг.

При частичном переводе шахтной печи на твердое топливо для подачи рециркулята в количестве 9 тыс. м<sup>3</sup> с температурой 250 °С в центральную горелку на сжигание 300 нм<sup>3</sup>/час природного газа используется существующий дымосос (ДН-10).

## ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

При выполнении проекта по переводу шахтных известково-обжиговых печей на твердое топливо целесообразно подвергнуть печи существенной модернизации, чтобы полностью перейти на применение твердого топлива с минимальным его удельным расходом.

Основные мероприятия по модернизации шахтных печей для работы на твердом топливе:

- Равномерное распределение греющей и охлаждающей среды по поперечному сечению шахты печи за счет счет применения классифицированного известняка и антрацита.
- Минимально возможные коэффициент расхода воздуха и температура обжига известняка при получении извести заданного качества.
- Применение трубчатого рекуператора для утилизации тепла отходящих продуктов горения.
- Адиабатическая выдержка известняка и обожженной извести.
- Эффективная огнеупорная футеровка со слоем теплоизоляции шахты печи.
- Внедрение системы АСУ ТП контроля и регулирования технологического процесса.

При переводе печей № 1–4 на ПАО «АМК» на 100 % твердого топлива ожидаемая себестоимость должна составить 537,64 грн/т извести, при этом снижение себестоимости – 28,8 млн грн/мес., или 347 млн грн/год – без



учета капитальных и дополнительных эксплуатационных затрат на модернизацию шахтных печей и реконструкцию участка.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монастырев, А.В. Производство извести / А.В. Монастырев. – М. : Высш. шк., 1972. – 207 с.

2. Табунщиков, Н.П. Исследование шахтных известково-обжигательных печей / Н.П. Табунщиков. – М. : Химия, 1964. – 141 с.
3. Нехлебаев, Ю.П. Экономия топлива при производстве извести / Ю.П. Нехлебаев. – М. : Металлургия, 1987. – 136 с.
4. Катаев, Б.И. Теплообмен в шахтных печах / Б.И. Катаев. – М.: Металлургиздат, 1949. – 279 с.
5. Табунщиков, Н.П. Производство извести / Н.П. Табунщиков. – М. : Химия, 1974. – 240 с.

*Поступила в редакцию 15.04.2012*

Надано технологічні рішення, що спрямовані на скорочення використання природного газу за рахунок переведення існуючих вапняно-випалювальних печей на тверде паливо. Описано заходи щодо зниження витрат палива для отримання готового вапна.

Technological approaches aimed at reducing natural gas use due to applying solid fuel at the existing lime-kilns are presented. Actions enable decreasing fuel consumption to obtain finished lime are described.