

удк

А.В. НЕСТЕРОВ, канд. техн. наук, доцент, генеральный директор (anest126@mail.ru)

ООО «КИАНИТ» (196105, г. Санкт Петербург, пр. Юрия Гагарина, 1)

Автоматизация шахтных печей для производства извести

Рассмотрены автоматические системы управления технологическим процессом обжига известняка в шахтных печах (АСУТП ШП), работающих на газовом топливе. Приведена общая схема АСУТП печи, перечислены основные измерительные приборы, используемые для управления обжигом. Рассмотрены системы безопасности при работе с газовыми устройствами, установленными на печах. Рассмотрены новые технические решения, позволяющие повысить управляемость печи, отследить и предотвратить аварийные ситуации при обжиге известняка в шахтных печах с помощью АСУТП. Затронуты вопросы правильной эксплуатации печей и выбора оптимального режима обжига. Даны практические результаты по использованию АСУТП ШП, которые реализованы на известковых и силикатных заводах России.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления технологическим процессом, автоматизация, измерительные приборы, известь, известняк, шахтная печь.

Для цитирования: Нестеров А.В. Автоматизация шахтных печей для производства извести // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 00–00.

A.V. NESTEROV, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Director General
ООО "KIANIT" (1, Yuriya Gagarina Avenue, St. Petersburg, 196105, Russian Federation)

Name

Рассмотрены автоматические системы управления технологическим процессом обжига известняка в шахтных печах (АСУТП ШП), работающих на газовом топливе. Приведена общая схема АСУТП печи, перечислены основные измерительные приборы, используемые для управления обжигом. Рассмотрены системы безопасности при работе с газовыми устройствами, установленными на печах.

Рассмотрены новые технические решения, позволяющие повысить управляемость печи, отследить и предотвратить аварийные ситуации при обжиге известняка в шахтных печах с помощью АСУТП.

Затронуты вопросы правильной эксплуатации печей и выбора оптимального режима обжига.

Даны практические результаты по использованию АСУТП ШП, которые реализованы на известковых и силикатных заводах России.

Keywords: ???????

For citation: Nesterov A.V. NAME. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 00–00. (In Russian).

Большинство шахтных печей для производства извести, построенных в конце прошлого века [1], оснащены старыми приборами измерения и автоматики, которые не обеспечивают должный уровень контроля над режимными параметрами обжига.

Для стабильного производства извести с высокой активностью необходим более высокий уровень автоматизации и более современные приборы контроля.

Основной задачей при обжиге известняка является поддержание стабильных параметров работы печи. Любое отклонение от режима приводит к снижению качества извести, повышению расхода топлива. При обжиге известняка в шахтных печах необходимо обеспечить:

- равномерную загрузку известняка в печь;
- постоянный уровень известняка в печи;
- постоянный расход газа на всю печь;
- распределение газа по горелкам для создания равномерного профиля температуры в зоне обжига.

Производительность шахтной печи и качество извести зависят от следующих основных параметров:

- качества исходного сырья – известняка;
- конструкции печи, режима ее работы;
- уровня автоматизации;
- профессиональной грамотности персонала.

Таким образом, уровень автоматизации напрямую влияет на эффективность производства извести.

Автоматизация печи позволяет:

- оперативно влиять на изменение технологических параметров обжига;
- отслеживать и устранять все аварийные ситуации;
- формировать отчеты по производительности печи и качеству продукции за любой отрезок времени

Современная АСУТП представляет собой трехуровневую систему (Системы автоматического управления на основе программируемых логических контроллеров. Техническая коллекция Schneider Electric. 2008. Вып. 16. 77 с. [https://download.schneider-electric.com/files?p_](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDoc-Type=Cahier+Technique&p_File_Id=334072568&p_File_Name=RCT016.pdf&p_Reference=RCT016)

[enDoc-Type=Cahier+Technique&p_File_Id=334072568&p_File_Name=RCT016.pdf&p_Reference=RCT016](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDoc-Type=Cahier+Technique&p_File_Id=334072568&p_File_Name=RCT016.pdf&p_Reference=RCT016) (дата обращения 14.12.2017)), представленную на рис. 1 [2].

Первый уровень – это первичные приборы (датчики измерения расхода, температуры, давления, разряжения, исполнительные механизмы и др.).

Второй уровень – это шкаф управления (контроллер, автоматы и др.).

К третьему уровню следует отнести автоматизированное рабочее место оператора (АРМ), выполненное на базе современных SCADA систем для управления, визуализации, накопления и архивирования данных.

Основным параметром, влияющим на активность извести, является удельный расход газа v_r , который представляет отношение расхода газа V_r к расходу извести $G_{и}$.

$$v_r = V_r / G_{и}$$

Для большинства шахтных печей на газовом топливе удельный расход

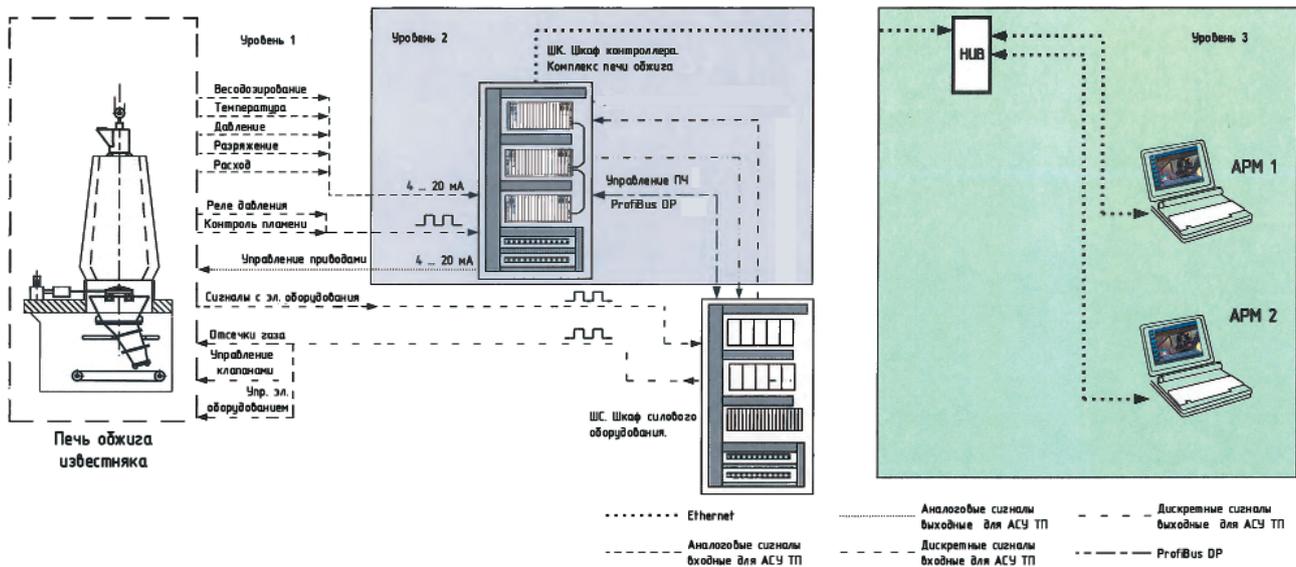


Рис. 1. Структурная схема АСУТП шахтной печи для производства извести

газа составляет 110–140 м³/т*, что соответствует 125–160 кг условного топлива на тонну извести или 890–1100 ккал/кг. Для каждой печи удельный расход газа определяется практически в зависимости от ее технического состояния и необходимой активности производимой извести.

Увеличение удельного расхода приводит к повышению активности или к завариванию печи. Снижение этого показателя соответственно ведет к уменьшению активности извести.

В первую очередь тепло сгорания газа идет на нагрев известняка, дымовых газов, на компенсацию потерь тепла через кожух и в последнюю очередь на декарбонизацию известняка.

Увеличение удельного расхода газа на 1 м³/т приводит к увеличению активности извести примерно на 1%. Однако при резком увеличении расхода газа возможно спекание извести в зоне обжига.

К нарушениям режима обжига могут привести также резкие колебания расхода известняка или извести. Поэтому важно выдерживать стабильный расход газа и известняка на протяжении всего производственного цикла.

Рассмотрим, какие приборы используются для поддержания стабильной работы шахтной печи.

Расход газа измеряется ротационными счетчиками RVG или турбинными СГ-16 (рис. 2). Эти счетчики дают точный результат, снабжены корректором, с выхода которого сигнал подается на контроллер. Расход газа на ярусы и центральную горелку допустимо измерять диафрагмой с цифровым дифференциальным манометром.

На практике часто наблюдается, что печь «работает одним боком», т. е. с одной стороны происходит пережог и спекание извести, а с другой – недожог. Поэтому возникает необходимость регулировать расход газа на всех периферийных горелках.

Оптимальным вариантом является установка манометров (тягонапомеров) перед каждой горелкой. Использование счетчиков газа в этом случае нецелесообразно.

Расход известняка (извести) измеряется путем взвешивания [3]. Существует несколько способов определения массы известняка в скиповом ковше (рис. 3).

Если позволяет высота, массу известняка определяют в промежуточном бункере, подвешенном на тензодатчиках. Загрузку камня производят до заданной массы. Массу регистрируют, а известняк высыплют в скиповый ковш, который отправляют на загрузку печи.

При отсутствии свободного пространства под основным бункером, выполняют разрыв на скиповой дорожке и нижнюю часть скиповой дорожки взвешивают вместе со скиповым ковшем. Кроме того, известняк иногда загружают в скиповый ковш через конвейерные весы.

Выбирается оптимальный способ с учетом пространства под печью и существующих коммуникаций. Взвешивание известняка является обязательным условием проведения процесса обжига в шахтной печи.

Желательным является также взвешивание извести для поддержания оптимального режима работы печи. Взвешивание извести позволяет контролировать скорость прохождения материала в печи, что су-



Рис. 2. Счетчики газа RVG (а) и СГ-16 (б)

щественно улучшает условия обжига. В этом случае бункер извести подвешивают на тензодатчиках, которые регистрируют увеличение массы извести в бункере. После наполнения бункера, известь быстро из него выгружается, и отсчет начинается заново. Для взвешивания бункера используются S-образные датчики. Для взвешивания скипового ковша – датчики типа весовая балка.

Таким образом, измерение расхода газа и массы загружаемого известняка (выгружаемой извести) позволяет поддерживать постоянным

*Расход дан для газа с нижней теплотой сгорания 33600 кДж/м³ (8020 ккал/м³)

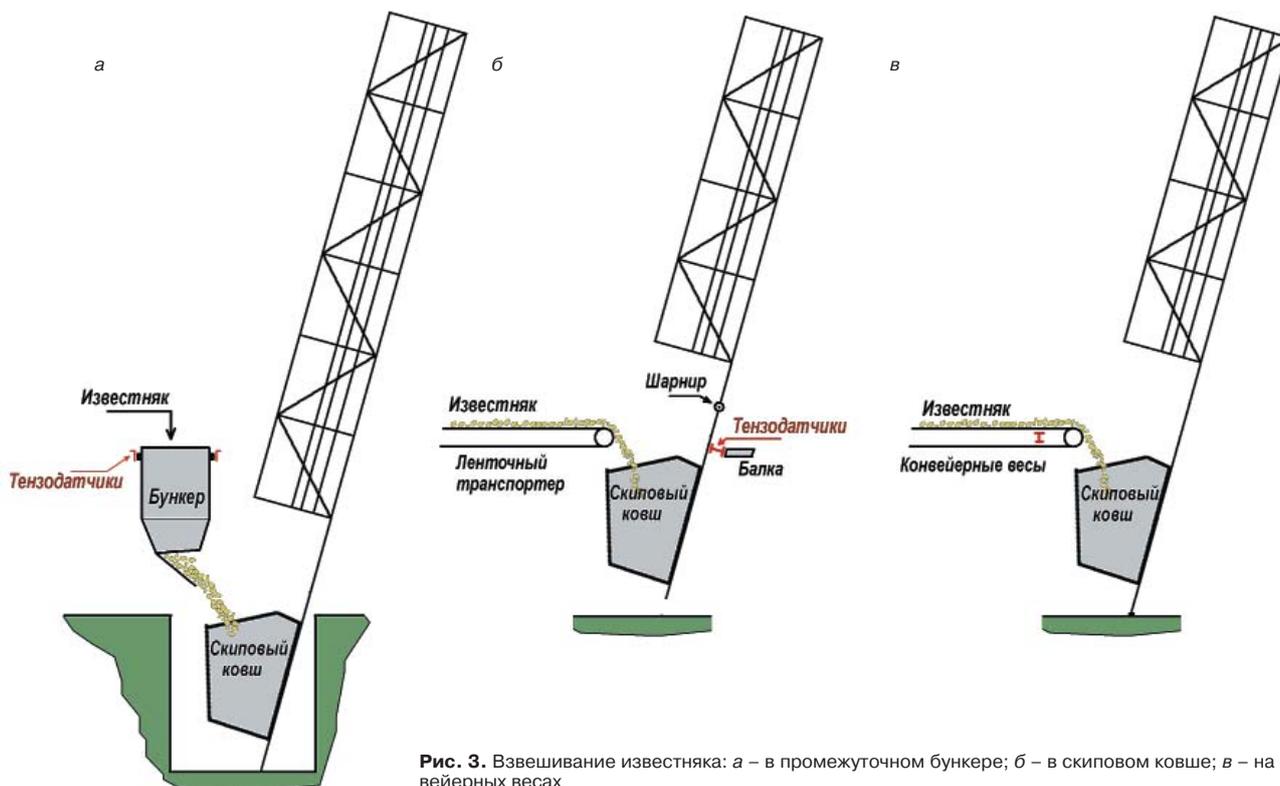


Рис. 3. Взвешивание известняка: а – в промежуточном бункере; б – в скиповом ковше; в – на конвейерных весах

основной параметр, влияющий на качество продукции, – удельный расход газа (или удельный расход тепла на печь).

Измерение уровня. При загрузке известняка в печь нужно выдерживать уровень материала +/- 200 мм*. При превышении допустимого уровня возможна поломка загрузочного и распределительного механизмов. При снижении уровня известняка в печи ниже допустимого нарушается тепловой и газодинамический режим работы печи.

Оптимальный вариант – это радарный (микроволновый) уровнемер. Единственный его недостаток – это цена. На рис. 4 изображен бесконтактный микроволновый уровнемер, выдерживающий температуру до 250°C, устойчивый к запыленным дымовым газам в печи.



Рис. 4. Бесконтактный микроволновый уровнемер

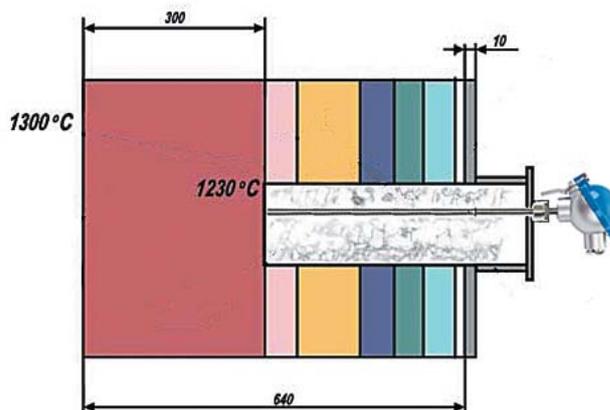


Рис. 5. Установка датчика температуры внутри футеровки

В случае ограничений по бюджету устанавливается механический штанговый уровнемер, который можно изготовить самостоятельно. При каждой загрузке щебня через систему блоков штанга поднимается и снова опускается на слой известняка. Индуктивные датчики сигнализируют максимальный и минимальный уровень.

Для равномерной загрузки известняка в печь реализуется следующий алгоритм. Загрузка осуществляется через равные промежутки времени в соответствии с заданной производительностью. Разгрузка из-

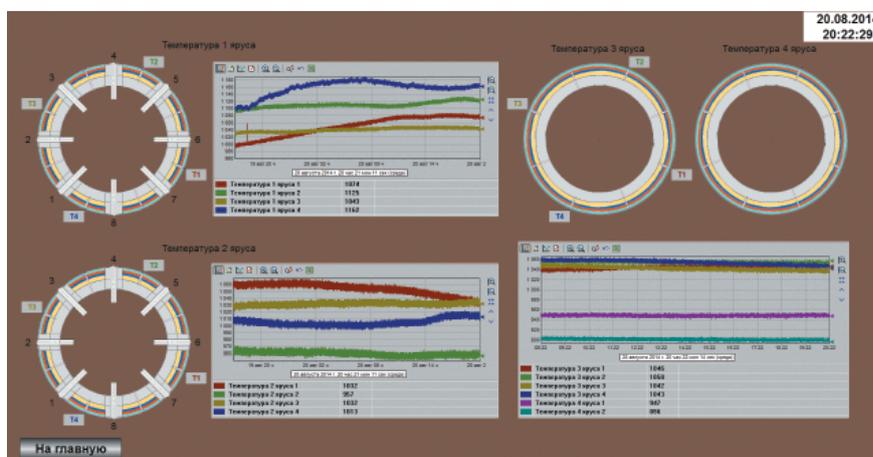


Рис. 6. Графики изменения температуры зоны обжига по периметру печи в течение суток

*Для печи производительностью 100 т извести в сутки.

вести подстраивается под количество загружаемого известняка частотным преобразователем разгрузочного механизма.

В случае снижения уровня ниже заданного система переходит на загрузку по уровню и посылает сигнал для замедления разгрузки. При достижении заданного уровня АСУ возвращается к загрузке по времени. В случае превышения максимального уровня система ускоряет разгрузку.

Если на печи организовано взвешивание извести, то дополнительно реализуется контроль постоянного расхода извести.

Скиповый подъемник. Управление электродвигателем лебедки осуществляется частотным преобразователем, который регулирует скорость подъема скипового ковша.

Концевые выключатели, установленные на скиповой дороге, позволяют быстро разгонять ковш в начальный момент времени и замедлять его движение при подходе к разгрузочному механизму.

Разряжение в печи измеряют по периметру обечайки. Внутри футеровки устанавливают трубки. Канал в футеровке прорезается насквозь. Важным параметром, влияющим на безопасность работы печи, является разрежение на нижнем ярусе в райо-

не периферийных горелок. При снижении разрежения ниже допустимого уровня АСУ выдает предупреждение и автоматически отключает газ на всех горелочных устройствах. Однако трубки часто засоряются и возможно ложное срабатывание системы безопасности.

На некоторых печах отбор разрежения производят непосредственно из горелочных ящиков. Такое решение имеет свои недостатки, но трубки не засоряются.

Состав дымовых газов. Контроль состава дымовых газов очень важен для настройки оптимального режима обжига, он позволяет минимизировать расход топлива, повысить производительность печи [4].

Оптимальный избыток воздуха на горение газа в печах составляет 40–60%, что соответствует содержанию кислорода в отходящих газах 5–8%. На практике часто наблюдается завышенное содержание кислорода за счет неконтролируемых подсосов воздуха через неплотности кожуха печи. Устранение подсосов позволяет добиться снижения расхода топлива и повышения активности извести.

Высокая стоимость стационарных и портативных газоанализаторов не всегда вписывается в бюджет автоматизации печи.

Тем не менее контроль состава дымовых газов можно выполнять лабораторными методами. Стоимость лабораторного оборудования и реактивов существенно меньше стоимости промышленного газоанализатора.

Достаточно настроить режим обжига по данным газоанализа один раз и затем время от времени контролировать состав дымовых газов лабораторными методами.

Расход воздуха контролируется диафрагмой с дифференциальным манометром на каждый ярус периферийных горелок печи и на центральную горелку. При настройке режима устанавливают расход воздуха несколько меньший, чем необходимо для горения газа, поскольку остальное количество воздуха должно поступать снизу печи через разгрузочное устройство. Герметизация разгрузочного устройства и контролируемая подача воздуха в нижнюю часть печи позволяет добиться полного сгорания топлива и создать оптимальный тепловой режим в зоне обжига.

Датчики температуры. Температура дымовых газов регистрируется термометрами сопротивления. Температура извести на выгрузке измеряется пирометрами.

Для измерения температуры внутри печи устанавливают датчики температуры внутри футеровки, как

ООО «КИАНИТ»

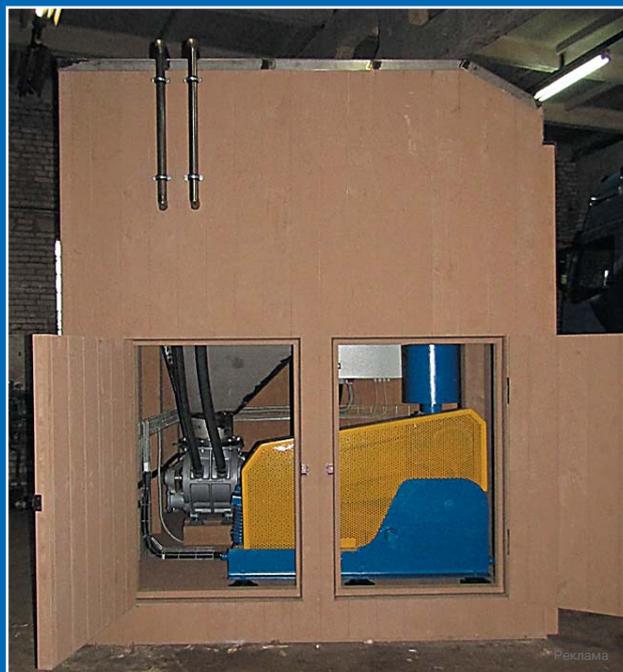
Тел.: (812) 947-04-58 E-mail: anest126@mail.ru
 www.kianit.ru www.processes-apparates.ru
 Россия, Санкт-Петербург,
 пр. Юрия Гагарина, 1, оф. 642

Мобильный пневмотранспортер для перемещения сыпучих материалов (известь, цемент, минеральные соли):

- изготовление пневмотранспортера;
- доставка на объект и пуск;

Характеристики:

- производительность 10–50 т/ч
- высота подъема 10–30 м
- длина пневмотрассы 50–100 м
- масса аппарата 3–6 т



Основные аварийные ситуации на шахтной печи производительностью 100 т/сут

Контролируемый параметр	Допустимые пределы	Предупреждение при превышении (понижении) значения	Отключение при превышении (понижении) значения
Расход газа, нм³/ч*			
Общий расход	0–1000	Нет	Нет
Верхний (2) ярус	0–400	Нет	Нет
Нижний (1) ярус	0–400	Нет	Нет
Центральная горелка	0–400	Нет	Нет
Давление газа, кПа			
На шахтной печи	10–100	Предупреждение	Нет
На нижнем ярусе	10–100	Предупреждение	Нет
На верхнем ярусе	10–100	Предупреждение	Нет
На центральной горелке	10–100	Предупреждение	Нет
Расход воздуха, нм³/ч			
На 1 ярус	600–4000	Предупреждение при расходе ниже допустимого	Предупреждение при расходе выше допустимого
На 2 ярус	600–4000		
На центральную горелку	600–4000		
Разряжение, кПа			
В зоне нижнего яруса	0,1–0,3	Предупреждение при разряжении ниже допустимого	Отсечение газа при разряжении ниже допустимого
В зоне верхнего яруса	0,3–0,6	Предупреждение при разряжении ниже допустимого	Отсечение газа при разряжении допустимого
В дымоотводе на выходе из печи	0,8–4	Предупреждение при разряжении ниже или выше допустимого	Отсечение газа при остановке дымососа
Температура, С			
В футеровке 1 яруса	1050–1250	Предупреждение при температуре выше допустимой	Нет
В футеровке 2 яруса			
На центральной горелке	220–370	Предупреждение при температуре выше допустимой	Отсечение газа при температуре выше допустимой
Верх печи	50–500	Предупреждение при температуре выше 200°С	Нет
Отходящие газы	150–350	Предупреждение при температуре выше 350°С	Нет
На дымососе	50–350	Предупреждение при температуре выше допустимой	Отсечение газа при температуре выше допустимой
Извести в бункере	50–200	Предупреждение при температуре выше 200°С	Нет
Расход щебня, 1/ч			
Количество ковшей	6–10	Предупреждение, если щебень не грузится в печь более 20 мин	Отсечение газа, если щебень не грузится в печь более 30 мин
Загрузка скипового ковша		Предупреждение, если скиповый ковш не загружен	Звуковой сигнал и остановка скипа если пустой ковш пошел наверх
Уровень, м			
Уровень щебня в печи (от верхней крышки)	1,8–3	Предупреждение, если значение уровня меньше/больше допустимого	Меньше 1,8 м: прекращается подъем скипового ковша на загрузку; Больше 3 м: загрузка происходит постоянно до достижения заданного уровня

* нм³/ч – расход, приведенный к нормальным условиям (0°С, 760 мм. рт. ст.)

показано на рис. 5. Поскольку невозможно ввести рабочую часть термодатчика непосредственно в движущийся слой обжигаемого материала, температуру измеряют в футеровке печи датчиком, который касается своим концом внутренней

поверхности магнезитового кирпича футеровки. Поскольку магнезит имеет высокую теплопроводность, полученную температуру легко пересчитать на температуру в печи.

Следует отметить, что температура по сечению печи может быть

очень неравномерной. На рис. 6 даны графики изменения температуры в зоне обжига. Как видно из рисунка, в начальный момент времени разница температуры на разных сторонах по периметру печи составляла более 200°С, причем на одной сторо-

а

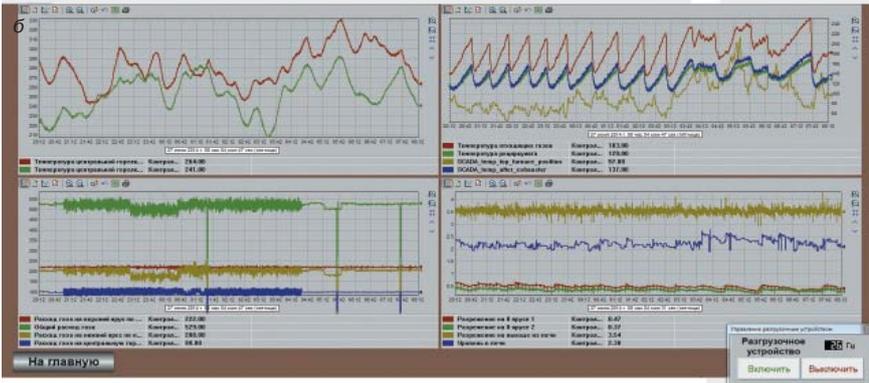
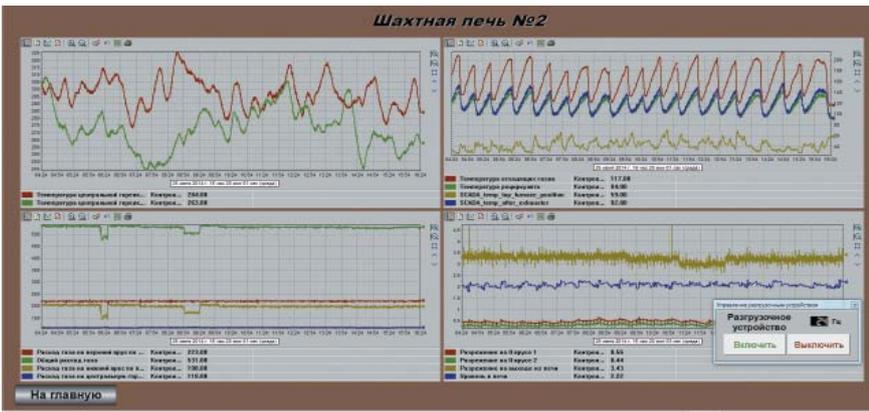


Рис. 7. Графики изменения режимных параметров шахтной печи: а – штатный режим работы; б – аварийный режим работы

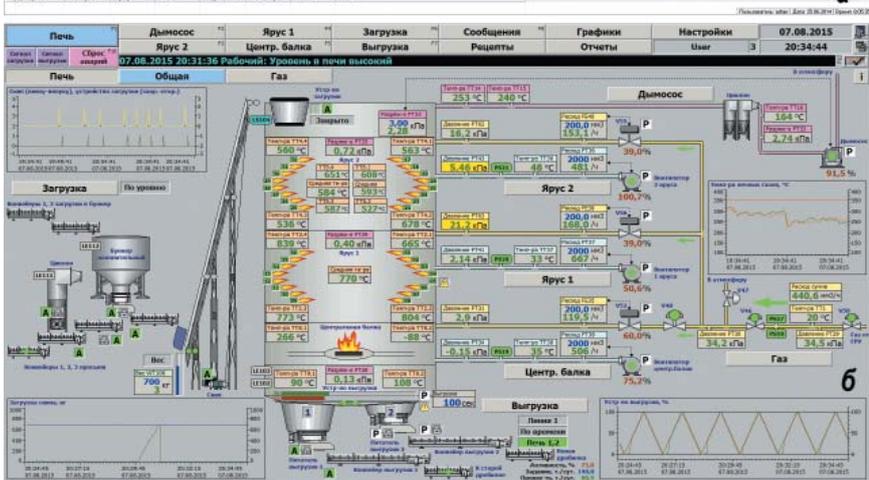
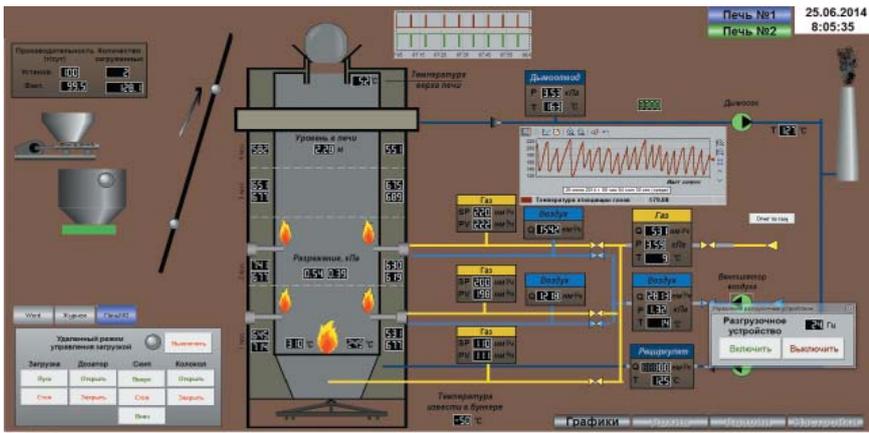


Рис. 8. Экраны мониторов для печей производительностью 100 и 150 т/сут

не печи температура была 860–900°C, при которой скорость обжига практически равна нулю. За сутки за счет перераспределения расхода газа по периферийным горелкам удалось несколько выровнять температуру по сечению печи и поднять среднюю температуру обжига.

Очень важную информацию о режиме обжига дает температура удаляемых из печи дымовых газов.

Установка частотного преобразователя на электродвигатель дымососа позволяет изменять высоту и положение зоны обжига в шахте печи, а приборы контроля дают возможность отрегулировать оптимальный режим.

При увеличении частоты вращения рабочего колеса дымососа зона обжига растягивается и поднимается вверх. Это повышает качество обжига, однако приводит к некоторому повышению температуры отходящих газов.

При уменьшении частоты вращения рабочего колеса дымососа температура дымовых газов уменьшается, зона обжига опускается вниз. Однако снижение разрежения на дымососе может привести к повышению температуры выгружаемой извести и нарушить тепловой режим центральной горелки.

По графикам изменения температуры дымовых газов можно судить о режиме обжига известняка. Стабильный режим работы печи показан на рис. 7, а. Режим характеризуется постоянным расходом газа, равномерной загрузкой материала, стабильным разрежением в печи. Температура дымовых газов имеет вид равномерных подъемов и спадов, что характеризует хорошую осадку печи: через равные промежутки времени (20–30 мин) слой известняка резко опускается («садится»). Резкое перемещение слоя вниз приводит к обновлению поверхности контакта обжигаемого известняка с газами и температура дымовых газов резко падает.

Однако сбой в подаче газа или известняка могут привести к зависанию материала в печи и затем к лавинообразному его спеканию («козлению» печи). На рис. 7, б видно, что в некоторый момент в результате сбоя в подаче материала, температура дымовых газов начала расти и осадка печи прекратилась. Своевременное вмешательство оператора позволило вернуть режим в стабильное состояние.

Рабочее место оператора располагается в отдельном помещении и позволяет управлять печами, отображая информацию о технологических параметрах в реальном масштабе времени на экране монитора.

Оператор задает производительность, расход газа, воздуха и другие режимные параметры печи.

На экране отображается вся информация о работе печи, а также предупреждения, подсказки. На рис. 8 показаны экраны мониторов для печей производительностью 100 и 150 т/сут соответственно.

Обычно на экран помимо основной схемы можно вывести информацию о работе отдельных механизмов печи (горелки, загрузка, выгрузка), а также графики (тренды), таблицы, список аварий и др.

Рассмотренные выше технические решения реализованы на

Угловском известковом комбинате [5] и на Борском силикатном заводе в 2014–2016 гг. АСУТП ШП позволила повысить качество извести и обеспечить стабильность работы шахтных печей.

Таким образом, приборы автоматики обеспечивают безопасность работы шахтной печи, а также позволяют оперативно вмешиваться в процесс обжига с целью получения извести высокого качества с низкими затратами топлива.

Архивация данных позволяет поднять всю историю работы печи и оценить действия оператора в аварийных ситуациях.

Система автоматики обеспечивает надежную безопасность работы печи и поддерживает стабильные параметры режима. В таблице дан перечень аварийных ситуаций, при которых срабатывает система автоматики.

Колебания качества сырья, отказ оборудования не позволяют полностью исключить человеческий фактор из схемы управления печью. Однако АСУТП ШП дает возможность максимально оперативно откликаться на изменение условий обжига и стабильно получать продукцию высокого качества.

Список литературы

1. Монастырев А.В. Производство извести. М.: Высшая школа, 1971. 272 с.
2. Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Ключев А.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 464 с.
3. Монастырев А.В., Галиахметов Р.Ф. Печи для производства извести. Воронеж: Истоки, 2011. 392 с.
4. Нестеров А.В., Датукашвили Д.О. Производство кальциевой извести в России // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 52–60.
5. Нестеров А.В., Батыжев. Новая жизнь шахтных печей // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 49–52.

References

1. Monastyrev A.V. Proizvodstvo izvesti [Production of lime]. Moscow: Vysshaya shkola. 1971. 272 p.
2. Klyuev A.S., Glazov B.V., Dubrovskiy A.H., Klyuev A.A. Proektirovanie sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov [Projection of systems of automation of technological processes]. Moscow: Energoatomizdat. 1990. 464 p.
3. Monastyrev A.V., Galiakhmetov R.F. Pechi dlya proizvodstva izvesti [Kilns for production of lime]. Voronezh: Istoki. 2011. 392 p.
4. Nesterov A.N., Datukashvili D.O. Production of high-calcium lime in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 52–59. (In Russian).
5. Nesterov A.V., Batyzhev D.Z. A New Life of Shaft Kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2015. No. 3, pp. 49–52. (In Russian).