

*Класен В.К., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧНОЙ СИСТЕМОЙ СУХОГО СПОСОБА ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

klassen.vk@yandex.ru

*В статье рассматриваются основные принципы управления современной печной системой сухого способа производства для обжига цементного клинкера. Приведены контролируемые технологические параметры и способ воздействия на них регулируемыми органами. Приведенные зависимости позволяют практически полностью автоматизировать процесс обжига цементного клинкера в печных системах с циклонными теплообменниками и декарбонизатором. Показаны способы своевременного определения и предупреждения аварийной ситуации, в первую очередь, по возникновению настывлей в нижней части циклонного теплообменника, в декарбонизаторе; материальных и клинкерных колец в печи. При реализации приведенных способов управления и автоматизации процессом обжига цементного клинкера достигается стабильность работы всей системы, обеспечиваются высокие технико-экономические показатели, а именно, повышенные производительность агрегата, стойкость футеровки и качество клинкера; пониженный удельный расход топлива. Кроме того, вследствие предупреждения аварийных ситуаций увеличивается коэффициент использования оборудования.*

**Ключевые слова:** клинкер, обжиг, управление, контролируемые параметры, регулируемое воздействие, печь, теплообменники, декарбонизатор.

**Введение.** Рациональное управление наиболее сложным и энергоемким процессом производства цемента – обжигом цементного клинкера является важной научно-технической задачей, так как в значительной степени определяет эффективность работы агрегата. В настоящее время наибольшее распространение при сухом способе имеют печи с декарбонизаторами, поэтому необходимо рассмотреть принципы управления такими печными системами. Управление процессами, протекающими непосредственно во вращающейся печи сухого способа и в клинкерном холодильнике, практически не отличаются от управления печами мокрого способа и представлены в публикации [1, 2]. Поэтому ниже будут преимущественно изложены способы регулирования степени подготовки материала в циклонных теплообменниках и запечном декарбонизаторе [3, 4]. В связи с тем, что в России до последнего времени в основном применялся мокрый способ производства цемента, то в данной работе преимущественно использован опыт специалистов зарубежных фирм [4...9].

**Методология.** Для решения поставленной задачи необходимо определить химико-минералогический состав сырьевой смеси, иметь характеристику топлива: элементарный состав горючего вещества, теплоту сгорания, влажность и зольность для твердого топлива. В промышленных условиях производится анализ газа после вращающейся печи и верхнего циклона на объемное содержание  $O_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ , а также температура и разрежение в отдельных точках теплообменника с использованием стандартных

приборов. Состав сырьевой смеси определяется рентгеновскими методами анализа. Технологические расчеты производятся с применением разработанных на кафедре компьютерных программ.

**Принцип управления печной системой с декарбонизатором.** В настоящее время в цементной промышленности в основном используется приведенный на рисунке способ управления современной печной системой. На схеме (рис. 1) зависимости отдельных технологических параметров от управляющего воздействия показаны пунктирными линиями со стрелками и обозначены числами 1...13. Для квалифицированного управления процессом обжига клинкера необходимо рассмотреть затраты тепла по отдельным технологическим зонам (табл. 1). Вследствие того, что в печную систему поступает сырьевая смесь с влажностью около 1% и экзотермические реакции синтеза  $C_2S$ ,  $C_3A$  и  $C_4AF$  в присутствии щелочных примесей протекают при пониженных температурах и в одних агрегатах, то следует при выборе принципа управления учитывать затраты тепла в совмещенных зонах I+II и III+IV. Кроме того, на конечной стадии спекания от 1450 до 1300°C не затрачивается тепло, а вследствие охлаждения клинкера и кристаллизации расплава тепло возвращается, что также следует учитывать при управлении системой.

Приведенные данные свидетельствуют, что самой энергопотребляемой зоной является зона декарбонизации. Поэтому, если в этой зоне обеспечить стабильную подготовку материала

со степенью разложения  $\text{CaCO}_3$  около 90%, то практически обеспечится стабильная работа вращающейся печи и всей системы в целом. В этом плане печь сухого способа имеет значительное преимущество, так как позволяет напрямую, минуя вращающуюся печь, подавать в декарбонизатор необходимое количество топлива и, таким образом, обеспечить стабильное состояние материала на входе во вращающуюся печь. Степень декарбонизации  $k_{\text{дек}}$  контролируется путем отбора проб и их анализом в лаборатории. Непрерывный текущий контроль ведется по температуре газового потока  $t_{\text{дек}}$  за декарбонизатором перед V-ым циклоном и регулируется подачей топлива в декарбонизатор  $m_{\text{т}}^{\text{д}}$  (связи 1, 2). Дополнительным контуром управления является поддержание стабильных параметров отходящих газов, в основном  $t_{\text{ог}}$ , которые регулируются в первую очередь изменением разрежения  $-H_{\text{ог}}$  за счет «тяги» дымососа (св. 3) и определяют подготовку материала в циклонном теплообменнике. Стабильность этих параметров может дополнительно поддерживаться незначительным изменением подачи топлива в декарбонизатор  $m_{\text{т}}^{\text{д}}$  (св.4). Разрежение  $-H_{\text{ог}}$  определяет сопротивление системы, которое может возра-

стать при образовании настывлей и отложений материала в теплообменнике. Концентрация  $\text{CO}^{\text{ог}}$  и  $\text{O}_2^{\text{ог}}$  в отходящих газах свидетельствует о полноте горения топлива и величине подсосов холодного воздуха в системе. Следует отметить, что согласно проведенных нами испытаний печей на Белорусском и Невьянском заводах [3, 4] подсосы порой достигают 100%, что, естественно, приводит к многочисленным негативным последствиям: перегрузке дымососа, перерасходу электроэнергии, недожогу и повышенному расходу топлива, понижению производительности печи.

Важными контролируруемыми параметрами, являются также показатели газового потока в загрузочной камере вращающейся печи. Вместе с параметрами отходящих газов эти показатели определяют распределение топлива и воздуха между двумя областями горения: декарбонизатором и печью, которое должно поддерживаться на уровне соотношений 60% к 40%. Это соотношение регулируется «тягой» конечного дымососа и вентилятора избыточного воздуха, а также шибером на газоходе третичного воздуха и распределением топлива (св.5, 6, 7, 10).

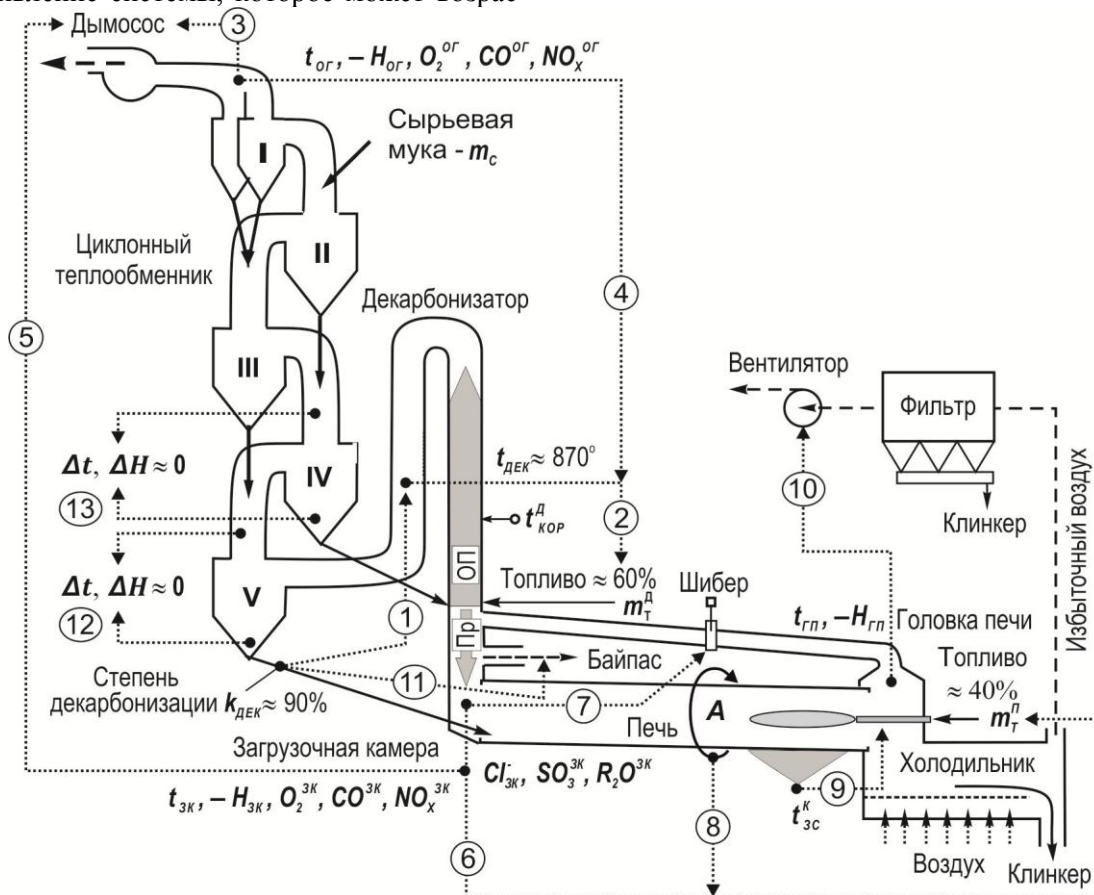


Рис. 1. Принципиальная схема регулирования процесса подготовки материала в запечном теплообменнике:  $m$  – расход сырья и топлива,  $t$  – температура,  $-H$  – разрежение,  $\Delta$  – перепад параметров,  $\text{O}_2, \text{CO}, \text{N}_2$  – содержание соответствующих газов в газовом потоке,  $\text{Cl}^-, \text{SO}_3, \text{R}_2\text{O}$  – содержание иона хлора, серного ангидрида и щелочных оксидов в материале на входе во вращающуюся печь, 1...13 – связи контролируемых параметров с управляющим воздействием, ОП – основной поток материала в декарбонизаторе, Пр – возможный провал материала

Таблица 1

## Температурные границы и расход тепла в отдельных технологических зонах

Наименование зон	I+II – сушки и подогрева	III+IV – декарбонизации и экзотермических реакций	2/3 V – спекания	1/3 V+VI – спекания и охлаждения
Положение в печной системе	теплообменник	декарбонизатор+печь	печь	печь+холодильник
Температурный интервал, °С	30...800	800...1300	1300...1450	1450...100
Затраты тепла, кДж/кг кл.	1400	2200	300	возврат+1200

По величине  $NO_x^{зк}$  определяется температура горения топлива и, следовательно, косвенно температура клинкера, дополнительно степень спекания клинкера контролируется по нагрузке на приводе *A* (св.6, 8). Интенсивность горения и длина факела в печи контролируется по температуре корпуса в зоне спекания  $t_{зк}^k$  и дополнительно по  $t_{зк}$  и регулируется положением и управляющими рычагами горелки (св.6, 9).

**Возможные технологические нарушения и способы их предупреждения.** Наиболее распространенными нарушениями в печных системах сухого способа являются образование настывлей в нижней части теплообменника, декарбонизаторе и загрузочной части печи. Эти отложения возникают вследствие появления в области 800...900°С щелоче-, хлор-, серосодержащих расплавов. Поэтому, чтобы предотвратить эти нарушения, предусматривается отбор части газов из загрузочной камеры печи с выводом нежелательных примесей из системы. Контроль и необходимый объем отсасываемого газа через байпас осуществляется по содержанию этих примесей в поступающем в печь материале из нижнего циклона, которое должно быть на уровне 1...2% и уточняется по опыту работы конкретного предприятия (св.11).

Заращение газоходов и декарбонизатора контролируется по температуре корпуса  $t_{кор}^d$  и непосредственным периодическим измерением через специальные отверстия, а нижней части IV и V циклонов определяется по перепаду разрежения и температуры в этих циклонах (св.12, 13).

Другим возможным нарушением может быть провалы материала навстречу газовому потоку в различных участках теплообменника или декарбонизатора, которые возникают вследствие недостаточного распыления потока материала из-под циклонов раскателями в загрузочных коробах или из-за низкой скорости восходящего газового потока. Приведенный на рисунке пример по провалу материала из декарбонизатора в печь (Пр) приводит к тому, что возрастает степень мнимой декарбонизации материала на входе в печь  $k_{дек}$ , но, в то же время, наблюдается снижение температуры материала в печи, что отражается уменьшением температуры газа в загрузочной камере  $t_{зк}$  и нагрузки на

приводе печи *A* с последующим выпуском недожженного клинкера.

**Вывод**

Приведенный принцип регулирования печной системой сухого способа обжига цементного клинкера, основанный на реализации представленных зависимостей между контролируемыми параметрами и управляющим воздействием, позволяет практически полностью автоматизировать сложный технологический передел производства цемента.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Классен В.К. Основные принципы и способы управления цементной вращающейся печью // Цемент и его применение. 2004. №2. С. 39–42.
2. Классен В.К. Основы управления процессом обжига цементного клинкера при мокром и сухом способах производства // V научные чтения по цементу «Современный цементный завод. Эксплуатация». «ALITINFORM», М. 2008. С.42–45
3. Классен В.К., Коновалов В.М., Перескок С.А., Классен А.Н. Оптимизация режима работы печи 4,5×80 м сухого способа производства цемента // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. №5. С. 131–134.
4. Классен В.К. Оптимизация режима работы вращающейся печи 4,5×80 м с циклонными теплообменниками и реактором-декарбонизатором // Отчет о научно-исследовательской работе №51/04, г. Белгород. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005 г. 72 с.
5. Gernot Jäger. SIMULEX® A Virtual Cement Production Line // 7th international KHD Humboldt Wedag Symposium 2006. 35 с.
6. Щеголяев Е.В. Технология обжига для производственных линий сухого и полусухого способов. // Международный цементный форум, г. Ганновер, KHD Humboldt Wedag. 2007. 36 с.
7. Сухой способ производства цемента // KHD Humboldt Wedag. 2007. 56 с.
8. ECS/CEMulator – SLC – D Kiln //FLS Automation Rev. Noy. 2002. 2 S.
9. ECS/CEMulator – the most realistic environment for operator training in cement industry //FLS Automation Rev. May. 2003. 2 S.