

## РАЗДЕЛ VI. ЗАМЕТКИ

Данилова Н.В., Кадыров Э.Д.

Алгоритмическое обеспечение процесса плавки  
медно-никелевых материалов в печах типа Ванюкова

(СПбГТУ, Санкт-Петербург)

На сегодняшний день довольно трудно представить функционирование какого-либо технологического объекта без автоматизированной системы управления, в том числе и процессы автогенной плавки медно-никелевых сульфидных материалов со сложным комплексом объектов автоматизации. В условиях рыночной конкурентной борьбы предприятия вынуждены не только обеспечивать безопасность и устойчивость ведения технологических процессов, но и постоянно повышать их экономическую эффективность. Безусловно, самым очевидным методом повышения эффективности технологических процессов является совершенствование технологических схем, аппаратного оформления технологии и режимов технологических процессов. Однако в рамках такого подхода можно извлечь лишь часть резервов экономии. Наиболее значительный эффект может быть получен за счет совершенствования автоматизированных систем управления технологическими процессами с включением в структуру системы интеллектуальной составляющей математического аппарата, работающего на основании алгоритмов нечеткой логики, нейронных сетей и др. Для получения блок-схемы алгоритма управления процессом автогенной плавки необходимо провести анализ технологического процесса, определить место математического аппарата в структуре АСУТП и установить ограничения, накладываемые на основные параметры процесса.

Целью управления процессом плавки сульфидного медно-никелевого сырья является получение штейна заданного состава, так как качество штейна, поступившего на дальнейшее конвертирование, влияет на технико-экономические показатели конвертирования: расход дутья, продолжительность продувки, количество использованных флюсов и образующегося конвертерного шлака, тепловой режим процесса и др.

Состав штейна по сумме цветных металлов регулируют изменением соотношения кислорода дутья и количества загружаемой шихты, при постоянном расходе природного газа.

Анализ данных оперативного контроля процесса Ванюкова за 2006 и 2008 годы показал (рис. 1), что содержание меди в штейне колеблется в пределах 50–68%. Поэтому существует необходимость стабилизации содержания меди в штейне.

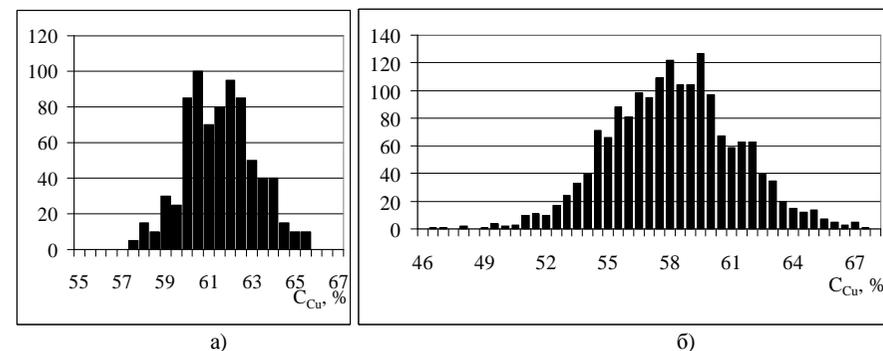


Рис. 1. Гистограмма распределения содержания меди в штейне:  
а) данные 2006 года, б) данные 2008 года

Состояние печи непрерывно меняется, поэтому при управлении процессом необходимо избегать нарушений равновесия внутри печи между загружаемыми материалами и давлением отходящих газов. Повышение качества штейна (стабилизация содержания меди в штейне в заданных пределах) возможно путем достаточно жесткой увязки входных массопотоков и дутьевых режимов за счет внедрения автоматизированной системы управления, включающей в контур управления модель количественной оценки содержания меди в штейне [2, 3], которая позволит до минимума сократить влияние «человеческого фактора». В связи с этим разработана система автоматического управления с применением алгоритмов нечеткой логики. Применение алгоритмов нечеткой логики заключается в реализации с помощью ЭВМ управления, аналогично тому, которое выполняет квалифицированный оператор, путем представления в виде модели методов его работы с использованием правил управления. Правила управления связывают оценку состояния объекта управления с последовательностью операций с помощью высказываний «ЕСЛИ ... ТО», осуществляют разделение пространства входных переменных на области и указывают последовательность операций в каждой локальной области.

Для улучшения качества управления процессом плавки разработана структурная схема автоматизированной системы управления содержанием меди в штейне, представленная на рис. 2, которая включает печь Ванюкова 1, оснащенную загрузочными воронками 2. В системе загрузки печи Ванюкова установлены бункеры 3 для подачи сыпучих шихтовых материалов (медного концентрата, руды, флюса, угля и оборотных материалов). Под бункерами 3 установлены ленточные питатели 4 для дозировки загружаемых в печь шихтовых материалов. С питателей 4 шихтовые материалы поступают на сборные транспортеры 5, с помощью которых подаются через загрузочные воронки 2 в реакционную зону печи Ванюкова.

Измерительные каналы **10-19** предназначены для получения информации о мгновенных значениях соответствующих параметров (расхода шихтовых материалов, расхода дутья, содержание меди в штейне и шлаке) и имеют прямой выход на блок **6** сбора и предварительной обработки информации. Блок **6** сбора и предварительной обработки информации связан с переключающим блоком **7**, выполняющим либо включение режима автоматического управления процессом с помощью блока **8** управления по алгоритму, либо его выключение, и перевод всей информации на автоматизированное рабочее место (АРМ) **9** оператора. Блок **8** управления по алгоритму связан с устройствами **20** и **21** выработки управляющего воздействия на расходы шихтовых материалов и с устройством **22** выработки управляющего воздействия на расход технического кислорода. Оператор с помощью АРМ **9** также имеет возможность воздействовать на расходы шихтовых материалов и технического кислорода посредством прямого ручного управления устройствами **20-22**.

Информация о величине измеряемых текущих параметров плавки по каналам передачи информации **10-19** поступает в блок **6** сбора и предварительной обработки информации для расчета основного параметра (общего расхода шихтовых материалов ( $G_{\text{ш}}$ ), т/ч) и отнесения процесса к одной из установленных областей ( $G_{-1}$ ,  $G_0$ ,  $G_{+1}$ ) (рис. 2).

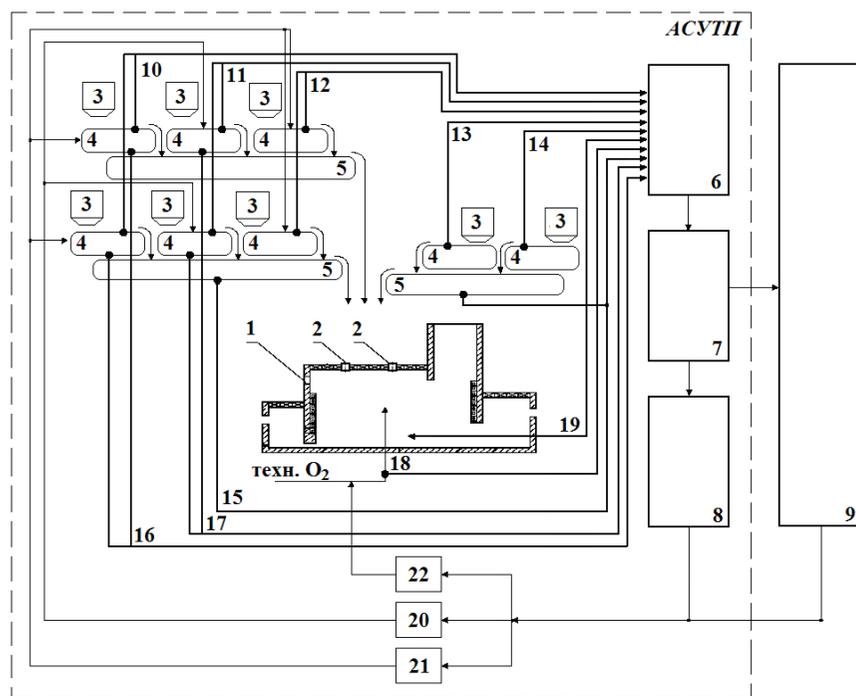


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления

Кроме того, дополнительно определяют соотношение расхода технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов ( $\text{м}^3/\text{т}$  шихты), и при градиенте его изменения свыше 10% от регламентируемого, корректируют общий расход шихтовых материалов и технического кислорода в зависимости от того, в какой области находится основной параметр, до достижения области  $G_0$ .

Область  $G_{-1}$  (рис. 3) характеризуется недостаточным для протекания реакций окисления сульфидов расходом технического кислорода на тонну загружаемых шихтовых материалов. В соответствии с этим реакции окисления не протекают в полном объеме, а штейн получается с низким содержанием меди. При этом прекращают управление в автоматическом режиме, переходят на ручной режим управления, а процесс ведут с увеличением расхода шихтовых материалов и расхода технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов ( $\text{м}^3/\text{т}$  шихты) до достижения области  $G_0$ .

Область  $G_0$  характеризуется наибольшей устойчивостью всех параметров процесса: гидродинамических, энергетических и физико-химических. При этом расплав поддерживается в исходном состоянии, процесс идет без резких скачков и локальных экстремумов, что свидетельствует о плавности протекания всех физико-химических реакций. Таким образом, область  $G_0$  (рис. 3) является эффективной для получения штейна с высоким содержанием меди и стабильного состава, и к ней нужно стремиться во время ведения процесса плавки. При этом управление ведут в автоматическом режиме по алгоритму (рис. 4).

Область  $G_{+1}$  (рис. 3) характеризуется переокислением сульфидов за счет большого расхода технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов, а также увеличением высоты ванны расплава за счет высокой производительности печи, что может привести к выбросу расплава в аптеки и к расплавлению фурм. При этом прекращают управление в автоматическом режиме, переходят на ручной режим управления, а процесс ведут с уменьшением расхода шихтовых материалов и расхода технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) до достижения области  $G_0$ .

Вся полученная информация о величине измеряемых текущих параметров плавки отображается на автоматизированном рабочем месте (АРМ) **9** оператора. Оператор, руководствуясь соответствующими технологическими регламентами и собственным опытом применительно к текущей производ-

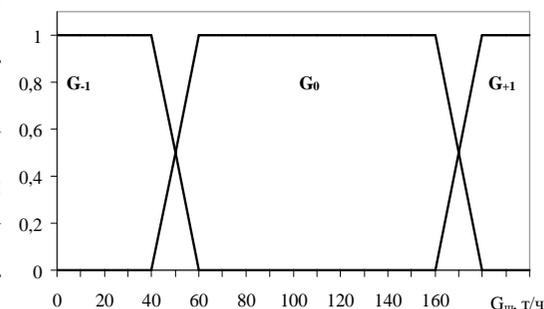


Рис. 3. Схема расположения областей основного параметра – общего расхода шихтовых материалов в печь (т/ч)

ственно-технологической ситуации, выбирает один из двух режимов управления процессом Ванюкова: «автоматический» или «ручной», выбирая соответствующий режим управления в переключающем блоке 7.

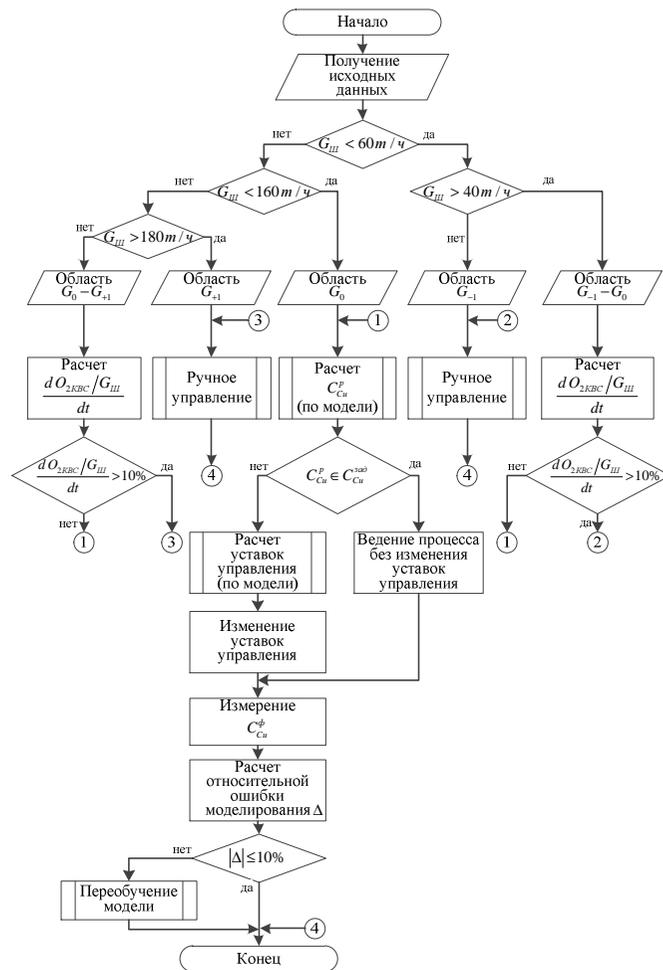


Рис. 4. Блок-схема алгоритма управления процессом автогенной плавки медно-никелевого сульфидного сырья в печи Ванюкова

При выборе оператором режима управления «автоматический» данные от информационных каналов 10-19 (и других, не рассматриваемых данной работой) поступают в модель для количественной оценки содержания меди в штейне, разработанную с применением методов нечеткой логики. И в зависимости от того, какое значение содержания меди в штейне будет рассчитано

моделью, осуществляется либо ведение процесса без изменения уставок управления либо пересчет и изменение уставок управления.

При выборе оператором режима управления «ручной» данные от информационных каналов 10-19 (и других, не рассматриваемых данной работой) поступают на автоматизированное рабочее место (АРМ) 9 оператора. Полученные данные о текущем состоянии процесса Ванюкова служат основой для выбора оператором уставок управляющих воздействий.

В случае если погрешность работы системы превосходит 10%, следует переобучить модель.

Для оценки работоспособности разработанного алгоритма управления процессом плавки медно-никелевого сульфидного сырья в печи Ванюкова был выполнен численный эксперимент на модели. Эксперимент проходил в три этапа. На первом этапе на основе данных оперативного контроля по модели количественной оценки содержания меди в штейне рассчитывалось содержание меди в штейне и сравнивалось с заданным (желаемым). На втором этапе на основании данных оперативного контроля и величины рассогласования рассчитанного по модели и заданного содержания меди в штейне рассчитывались уставки расходов шихтовых материалов и технического кислорода. На третьем этапе на основе данных оперативного контроля с учетом изменения величины расхода шихтовых материалов и расхода технического кислорода на тонну шихтовых материалов для этого же момента времени вновь рассчитывалось содержание меди в штейне. На рис. 5 представлены результаты численного моделирования.

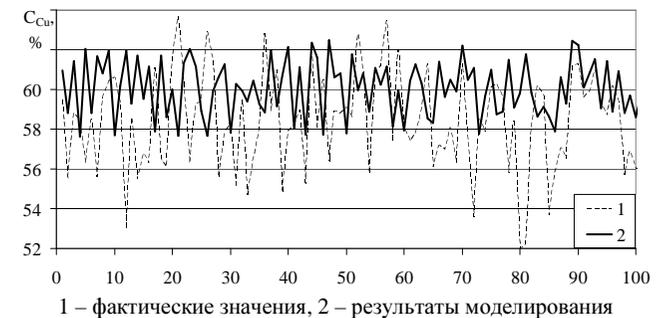


Рис. 5. Результаты численного моделирования управления содержанием меди в штейне

Как следует из рис. 5, изменение уставок расхода шихтовых материалов и расхода технического кислорода на тонну шихты согласно разработанного алгоритма привело к стабилизации содержания меди в штейне в заданных пределах. Таким образом, проведенный эксперимент позволяет рекомендовать систему управления содержанием меди в штейне к применению в промышленных условиях.

### Литература

1. Заявка 2010133350 RU, МПК C22B15/00. Способ автоматического управления содержанием меди в штейне / Данилова Н.В., Кадыров Э.Д. Заявлено 09.08.2010.

2. Данилова Н.В. Применение нечеткой логики для разработки модели количественной оценки содержания меди в штейне // Проблемы рудной и химической электротермии: Сб. тр. Всероссийской науч.-техн. конференции с международным участием «Электротермия-2010». – СПб., 2010. – С. 172-177.

3. Данилова Н.В. Автоматизированная система управления процессом автогенной плавки медно-никелевого сульфидного сырья на основе нечеткой логики: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2010. – 20 с.

Котелева Н.И.

#### **Усовершенствование алгоритмов управления процессом шахтного обжига известняка как средство повышения эффективности производства металлургической извести**

*(СПбГТУ, Санкт-Петербург)*

Известь занимает важное место в сталеплавильном и ферросплавном производствах. Она применяется в составе твердых шлакообразующих смесей и служит для удаления из расплава фосфора, серы, кремния и марганца.

Для обжига известняка преимущественно используются вращающиеся печи, однако в последнее время, благодаря новым разработкам конструкций газовых печей, существует тенденция к переходу на шахтный обжиг. Шахтные печи превосходят вращающиеся печи в экономичности, не уступая им в качестве получаемого продукта.

Совершенствования конструкции печей недостаточно для повышения эффективности производства металлургической извести. Наряду с усовершенствованием конструкций печи необходимо усовершенствовать системы автоматизированного управления процессами. Одним из решений усовершенствования системы автоматизированного управления может быть внедрение новых алгоритмов управления. В частности, в работе [1] предложено усовершенствование автоматизированной системы управления процессом обжига известняка в печах шахтного типа путем введения в вычислительные блоки системы нейросетевых алгоритмов, позволяющих повысить ее адаптационные свойства. В работе установлено, что введение нейросетевых алгоритмов приводит к повышению качества управления процессом шахтного обжига известняка.

Основной научной и практической проблемой при разработке системы управления технологическими процессами металлургического производства