УДК 658.012.011.56:658.512

Н.В.ДАНИЛОВА, *канд. техн. наук, ассистент*, (*812*) *328-82-56*
Э.Д.КАДЫРОВ, *канд. техн. наук, доцент*, (*812*) *328-82-56*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

N.V.DANILOVA, *PhD in eng. sc., assistant lecturer*, (*812*) *328-82-56*
E.D.KADYROV, *PhD in eng. sc., associate professor*, (*812*) *328-82-56*
Saint Petersburg State Mining University

АЛГОРИТМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В УПРАВЛЕНИИ АВТОГЕННОЙ ПЛАВКОЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ СУЛЬФИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье приведена структура системы автоматического управления автогенной плавкой медно-никелевых сульфидных материалов. Разработан алгоритм управления процессом с применением алгоритмов нечеткой логики.

***Ключевые слова*:** алгоритм управления, нечеткая логика, автоматизация производства.

ALGORITHMS OF FUZZY LOGIC IN CONTROL OF AUTOGENOUS FUSION OF COPPER-NICKEL SULPHIDIC MATERIALS

In work the structure of automatic control system by autogenous fusion of cooper-nickel sulphidic materials is resulted. The algorithm of management by process with application of algorithms of fuzzy-logic is developed.

***Key words*:** control algorithm, fuzzy-logic, manufacture automation.

Введение. 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, аппаратурного 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 (АСУТП) 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.

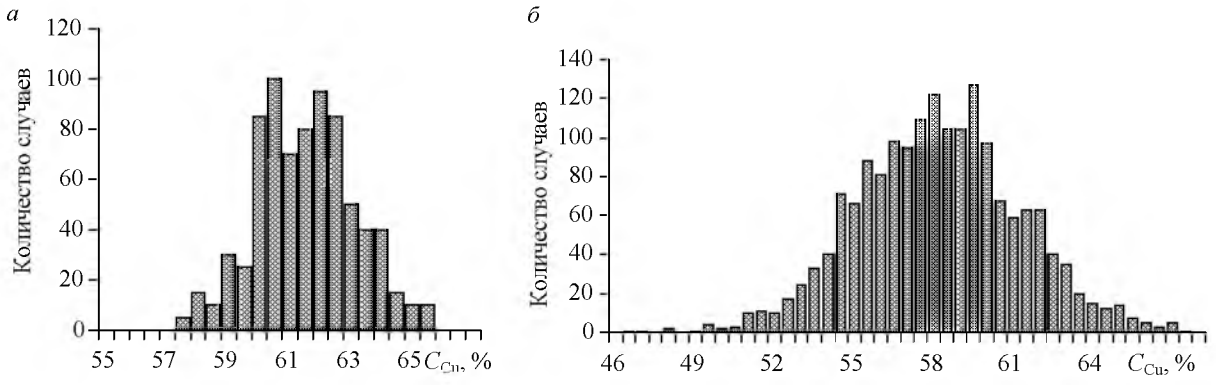


Рис.1. Гистограмма распределения содержания меди в штейне по данным 2006 г. (*а*) и 2008 г. (*б*)

Анализ объекта управления. Цель управления процессом плавки сульфидного медно-никелевого сырья – 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 расхода кислорода дутья и количества загружаемой шихты, при постоянном расходе природного газа.

Анализ данных оперативного контроля процесса Ванюкова за 2006 и 2008 гг. показал (рис.1), что содержание меди в штейне составляет 50-68 %. В связи с этим возникла необходимость стабилизации содержания меди в штейне.

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, которая позволит до минимума сократить влияние «человеческого фактора»*. В связи с этим разработана система автоматического управления с применением алгоритмов нечеткой логики – 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.

Структурная схема системы управления. Для улучшения качества управления процессом плавки разработана структурная схема автоматизированной системы управления содержанием меди в штейне (рис.2), которая включает печь Ванюкова 1, осна-

* *Данилова Н.В.* Применение нечеткой логики для разработки модели количественной оценки содержания меди в штейне // Проблемы рудной и химической электротермии: Сб. тр. Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Электротермия-2010». СПб, 2010.

Danilova N.V. Application of fuzzy-logic for working out of model of a quantitative estimation of the maintenance of copper in stein // Problems of ore and chemical electrothermie. Saint Petersburg, 2010.

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

Danilova N.V. The automated control system of process of autogenous fusion of medno-nickel sulphidic raw materials on the basis of fuzzy-logic: The author's abstract of the dissertation of PhD in eng. sc. Saint Petersburg, 2010.

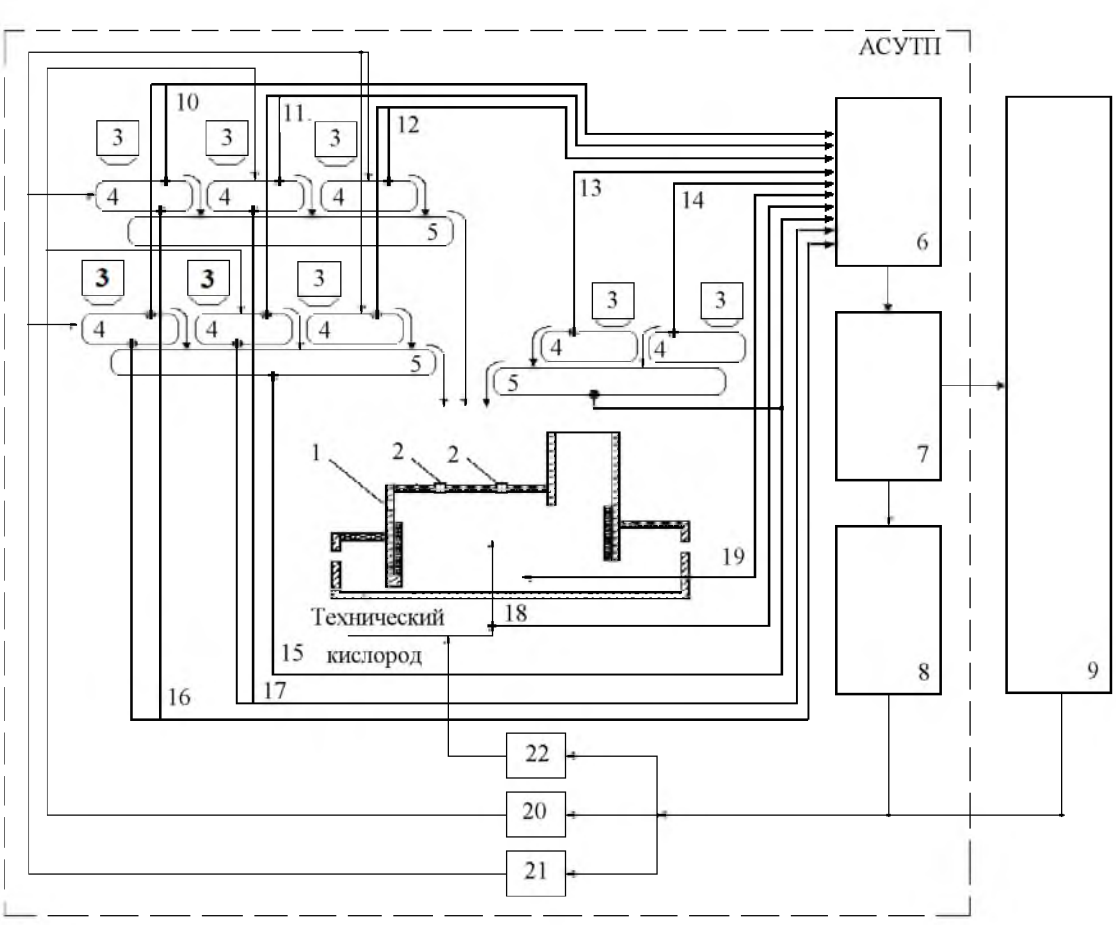


Рис.2. Структурная схема системы автоматического управления

щенную 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 находятся ленточные питатели 4 для дозировки загружаемых в печь шихтовых материалов. С питателей 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). Измерительные каналы имеют прямой выход на блок 6 сбора и предварительной обработки информации, который 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 может воздействовать на расходы шихтовых материалов и технического кислорода посредством прямого ручного управления устройствами 20-22.

Информация о значении 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

$G_{ш}$, т/ч) и отнесения процесса к одной из установленных областей (G_{-1}, G_0, G_{+1}) (рис.3).

Кроме того, дополнительно определяют соотношение расхода технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов (кубические метры на тонну шихты). При градиенте изменения более 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 технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов 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) эффективна 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} (см. 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 аптейк 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 технического кислорода дутья на тонну шихтовых материалов до достижения области G_0.

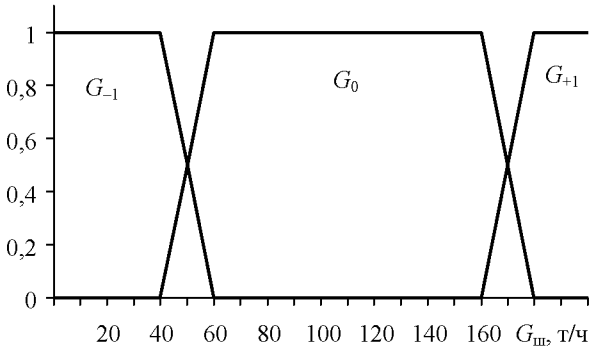


Рис.3. Схема расположения областей основного параметра – общего расхода шихтовых материалов в печь

Алгоритм управления. Вся полученная информация о величине измеряемых текущих параметрах плавки отображается на автоматизированном рабочем месте 9 оператора (рис.2). Оператор, руководствуясь технологическим регламентом и собственным опытом применительно к текущей производственно-технологической ситуации, выбирает один из двух режимов управления процессом Ванюкова: автоматический или ручной с соответствующим режимом управления в переключающем блоке 7.

При выборе оператором режима управления «автоматический» данные от информационных каналов 10-19 (и других, не рассматриваемых в статье) поступают в модель для количественной оценки содержания меди в штейне, разработанную с применением методов нечеткой логики. Далее 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 9 оператора. Полученные данные о текущем состоянии процесса Ванюкова служат основой для выбора оператором уставок управляющих воздействий.

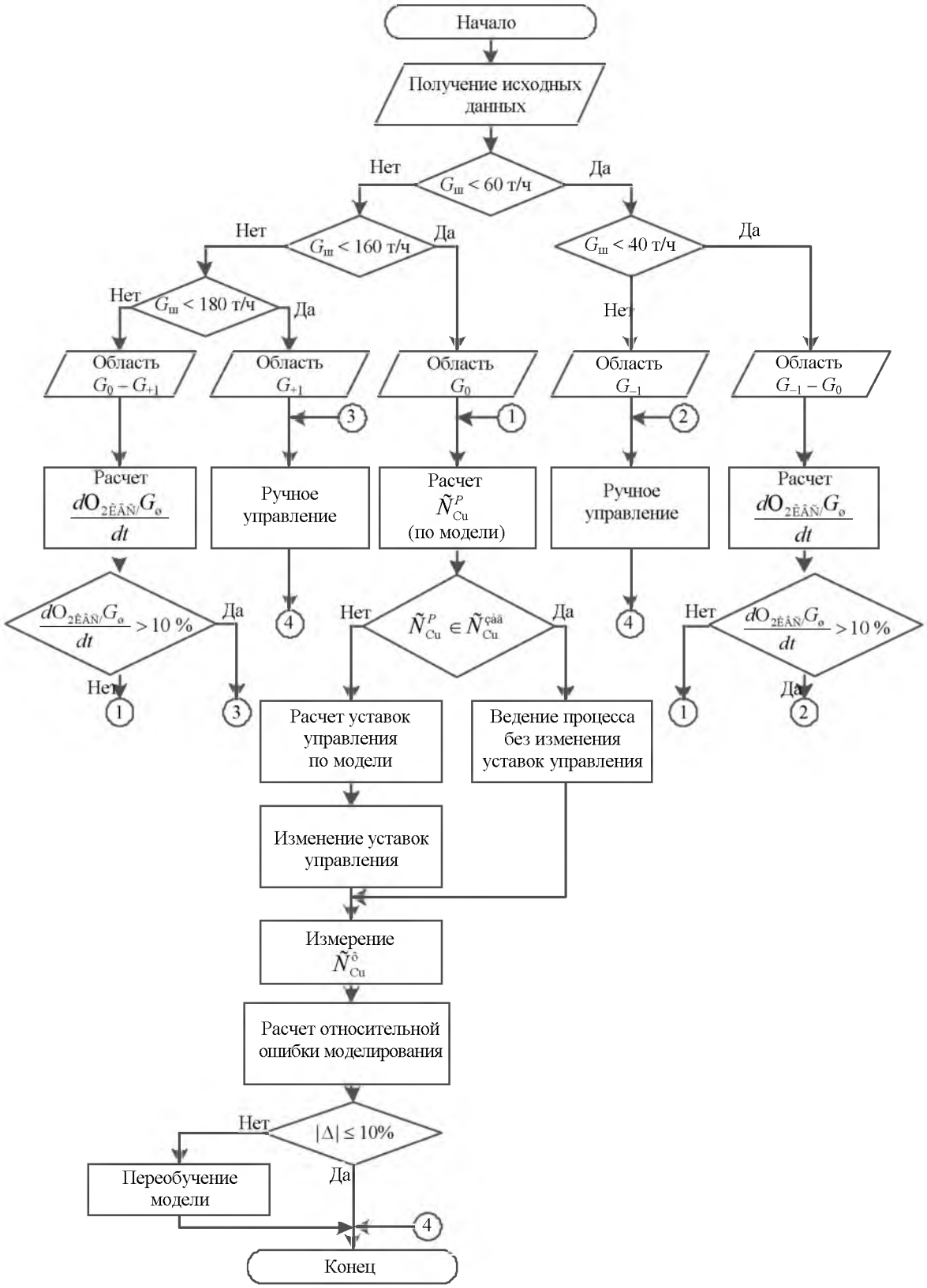


Рис.4. Блок-схема алгоритма управления процессом автогенной плавки медно-никелевого сульфидного сырья в печи Ванюкова

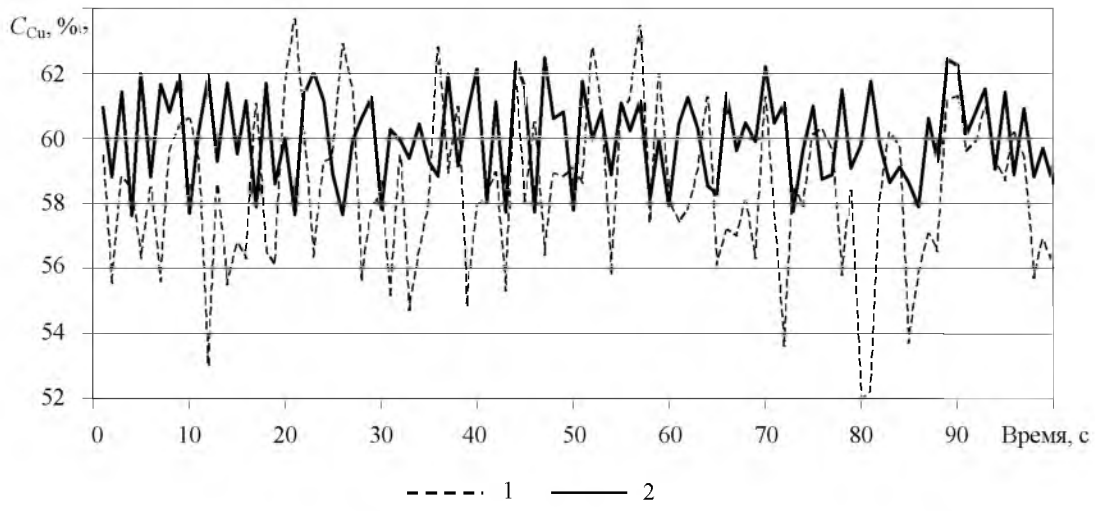


Рис.5. Результаты численного моделирования управления содержанием меди в штейне
1 – фактические значения; 2 – результаты моделирования

Если погрешность работы системы более 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:

1) на основе данных оперативного контроля по модели количественной оценки содержания меди в штейне рассчитывалось содержание меди в штейне и сравнивалось с заданным (желаемым);

2) согласно данным оперативного контроля и величины рассогласования рассчитывались уставки расходов шихтовых материалов и технического кислорода;

3) на основе данных оперативного контроля с учетом изменения расхода шихтовых материалов и технического кислорода на тонну шихтовых материалов для этого же момента времени вновь рассчитывалось содержание меди в штейне. На рис.5 представлены результаты численного моделирования.

Изменение уставок расхода шихтовых материалов и технического кислорода на тонну шихты согласно разработанному алгоритму 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.