

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПЛАВКЕ СУЛЬФИДНЫХ РУД

А.И. Писарев, М.Ю. Дерябин

Норильский индустриальный институт

Рецензент В.Ф. Калинин

Ключевые слова и фразы: высокотемпературное восстановление серы; диоксид серы; заводы цветной металлургии; плавка сульфидных руд; фактор техногенного воздействия на окружающую среду.

Аннотация: Для очистки газов от диоксида серы применяется «метановый» способ, заключающийся в извлечении серы из газа. В работе предложен параметр (коэффициент восстановления), показывающий насколько полно прошла реакция извлечение серы.

Загрязнение окружающей среды диоксидом серы (SO_2), образующегося при плавке сульфидных руд на заводах цветной металлургии и выбрасываемого в атмосферу в составе технологического газа, является серьезным фактором техногенного воздействия на окружающую среду.

Для очистки газов от диоксида серы применяется «метановый» способ, заключающийся в извлечении серы из газа. Важнейшим этапом извлечения серы является ее высокотемпературное восстановление, проходящее в реакторе-генераторе [1], конструкция которого показана на рис. 1.

Процесс восстановления реализуется следующим образом. Отходящий из плавильной печи газ поступает в форкамеру 1, одновременно туда подается природный газ, который быстро и полно реагирует с молекулярным кислородом в газе. Вся сера, содержащаяся в невосстановленном технологическом газе, находится в соединении SO_2 . После прохождения газа через реактор-генератор сера одновременно может находиться в четырех формах: в элементарной форме S_2 ; в виде соединений: сероводорода H_2S , сульфида оксида углерода COS , диоксида серы SO_2 .

Избыточный расход природного газа приводит к увеличению H_2S , недостаточный расход метана – к избытку SO_2 в отходящих газах. И то, и другое влечет за собой неполное извлечение серы.

Писарев А.И. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация технологических процессов» Норильского индустриального института.

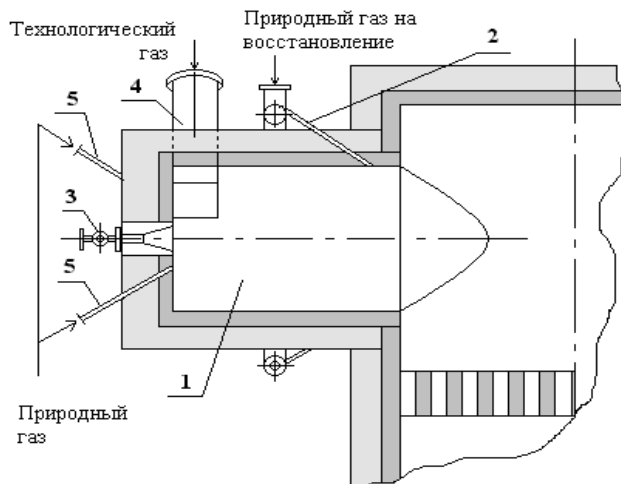


Рис. 1 Конструкция реактора-генератора:

1 – форкамера; 2 – сопла подачи природного газа на восстановление; 3 – горелка; 4 – сопло ввода технологического газа; 5 – сопла ввода топливного природного газа

В работе [1] предложен параметр (коэффициент восстановления), показывающий насколько полно прошла реакция извлечение серы. Коэффициент восстановления вычисляется по формуле

$$K_v = ([H_2S] + [COS]) / [SO_2], \quad (1)$$

где $[H_2S]$, $[COS]$, $[SO_2]$ – концентрации газовых компонент смеси на выходе из реактора-генератора.

На рис. 2 приведена зависимость извлечения серы из газа от коэффициента восстановления. Максимальная эффективность извлечения достигается при $K_v = 2$. Коэффициент восстановления K_v зависит, в первую очередь, от того количества природного газа на восстановление, который подается в форкамеру. Количество газа, необходимое для получения $K_v = 2$, рассчитывается по формуле

$$F_2 = 0,5F_1([O_2] - R[SO_2]) - F_3, \quad (2)$$

где $[O_2]$ – концентрация кислорода в технологическом газе; $[SO_2]$ – концентрация диоксида серы в технологическом газе; R – фактор восстановления, устанавливаемый оператором в диапазоне 0,9...1,5; F_1 – расход технологического газа на реактор-генератор; F_2 – расход природного газа на восстановление; F_3 – расход топливного природного газа.

Управление расходом по формуле (2) затруднено следующими обстоятельствами:

– при управлении присутствует человеческий фактор (пе-

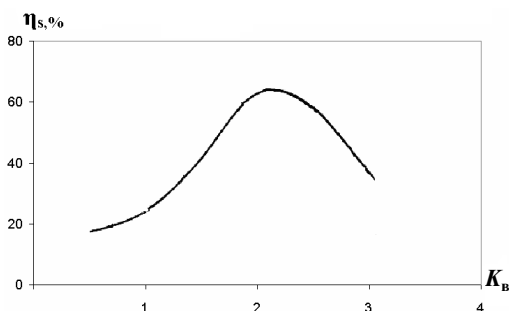


Рис. 2 Зависимость извлечения серы от K_v

ременная R устанавливается оператором вручную и полностью зависит от его опыта);

– оператор не может учесть всех факторов, влияющих на восстановление серы.

В настоящей работе предлагается автоматическая система, позволяющая вести управление процессом в реальном времени с учетом опыта операторов. Структурная схема системы автоматического управления (САУ) представлена на рис. 3. Объектом управления (ОУ) является реактор-генератор. За управляемую переменную принят коэффициент восстановления K_B , за управляющее воздействие – расход природного газа на восстановление F_2 .

Возмущающие воздействия: расход технологического газа F_1 и концентрация диоксида серы $[SO_2]$. Для одновременного учета обоих возмущений введем результирующее возмущение $F_4 = F_1[SO_2]$. Физический смысл величины F_4 – расход диоксида серы, поступающего в реактор-генератор в составе технологического газа.

Таким образом, получаем двухконтурную систему, состоящую из внутреннего контура регулирования расхода природного газа и внешнего контура регулирования коэффициента восстановления, каждый из которых работает по отклонению. Возмущающими воздействиями на контур регулирования расхода природного газа будут его давление P и температура T . Исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО) – малоинерционные объекты, поэтому можно применить замкнутую систему автоматического регулирования. Фактические значения температуры и давления природного газа должны учитываться при определении текущего расхода природного газа, для чего в системе предусмотрено корректирующее устройство (КУ).

В контуре регулирования расхода природного газа на восстановление расчет регулятора целесообразно выполнить из условия настройки на модульный оптимум [2].

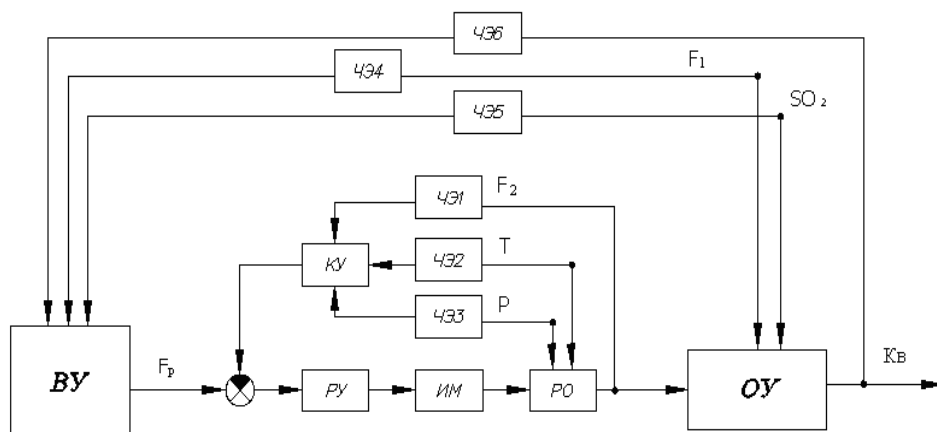


Рис. 3 Структурная схема САУ:

ЧЭ1 – датчик расхода природного газа; ЧЭ2 – датчик температуры природного газа;
 ЧЭ3 – датчик давления природного газа; ЧЭ4 – датчик расхода технологического газа;
 ЧЭ5 – датчик измерения концентрации $[SO_2]$ на входе в реактор-генератор; ЧЭ6 – датчик измерения концентрации $[SO_2]$, $[H_2S]$, $[COS]$ на выходе из реактора-генератора

В схему регулирования введено звено верхнего уровня (ВУ). Оно предназначено для расчета задания расхода природного газа F_p на локальный контур в реальном времени в зависимости от параметров процесса, возмущений и опыта оператора-технолога.

На верхнем уровне применяется алгоритм Мамдани [3]. Структура системы верхнего уровня представлена на рис. 4.

Для разработки верхнего уровня опытным путем построены функции принадлежности для переменных K_v и F_4 .

На рис. 5 и рис. 6 приведены функции принадлежности для коэффициента восстановления и расхода диоксида серы. Каждая состоит из пяти термов: ZE – приблизительно ноль; NS – отрицательное малое; NB – отрицательное большое; PS – положительное малое; PB – положительное большое.

При этом крайние термы имеют Z-образную форму, а внутренние – П-образную. На вход ВУ поступают сигналы K_v и F_4 . Блок фаззификации преобразует их в четкие значения функций принадлежности. В блоке нечеткого вывода применяется база правил, которая приведена ниже. При ее построении использовался опыт операторов по управлению реактором-генератором. Система нечеткого вывода содержит 25 правил нечетких продукций следующего вида (цифра один в скобках после каждого правила – весовой коэффициент, показывающий достоверность данного правила).

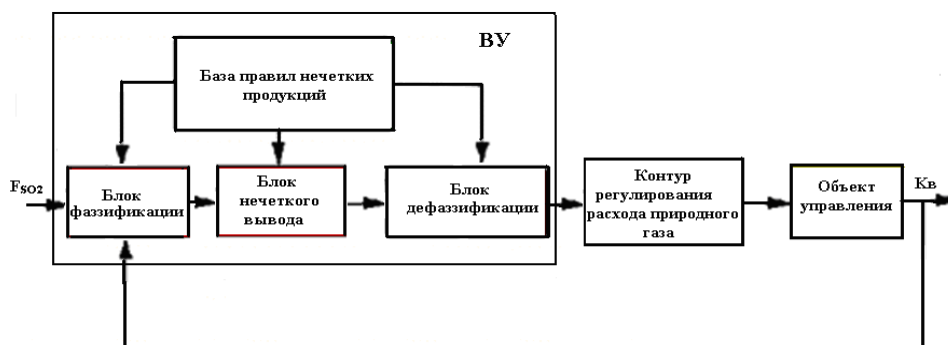


Рис. 4 Система регулирования со звеном верхнего уровня

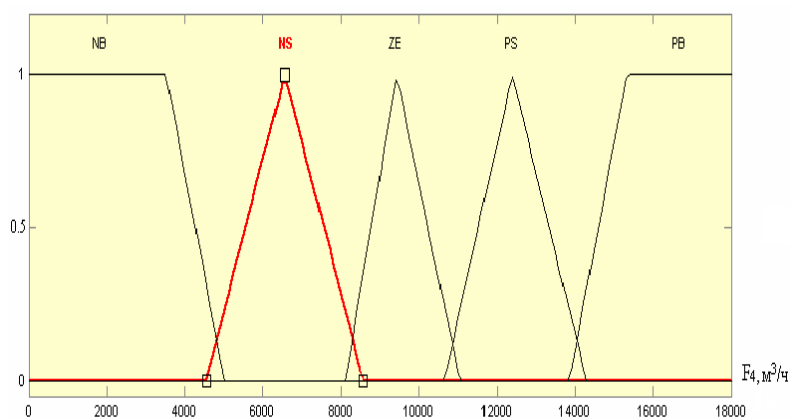


Рис. 5 Функции принадлежности коэффициента восстановления

1. If (Kv is NB) and (FSO2 is NB) then (Fp is PB) (1)
2. If (Kv is NB) and (FSO2 is NS) then (Fp is PB) (1)
3. If (Kv is NB) and (FSO2 is ZE) then (Fp is PM) (1)
4. If (Kv is NB) and (FSO2 is PS) then (Fp is PS) (1)
5. If (Kv is NB) and (FSO2 is PB) then (Fp is ZE) (1)
6. If (Kv is NS) and (FSO2 is NB) then (Fp is PB) (1)
7. If (Kv is NS) and (FSO2 is NS) then (Fp is PM) (1)
8. If (Kv is NS) and (FSO2 is ZE) then (Fp is PS) (1)
9. If (Kv is NS) and (FSO2 is PS) then (Fp is ZE) (1)
10. If (Kv is NS) and (FSO2 is PB) then (Fp is NB) (1)
11. If (Kv is ZE) and (FSO2 is NB) then (Fp is PM) (1)
12. If (Kv is ZE) and (FSO2 is NS) then (Fp is PS) (1)
13. If (Kv is ZE) and (FSO2 is ZE) then (Fp is ZE) (1)
14. If (Kv is ZE) and (FSO2 is PS) then (Fp is NS) (1)
15. If (Kv is ZE) and (FSO2 is PB) then (Fp is NM) (1)
16. If (Kv is PS) and (FSO2 is NB) then (Fp is PS) (1)
17. If (Kv is PS) and (FSO2 is NS) then (Fp is ZE) (1)
18. If (Kv is PS) and (FSO2 is ZE) then (Fp is NS) (1)
19. If (Kv is PS) and (FSO2 is PS) then (Fp is NM) (1)
20. If (Kv is PS) and (FSO2 is PB) then (Fp is NB) (1)
21. If (Kv is PB) and (FSO2 is NB) then (Fp is ZE) (1)
22. If (Kv is PB) and (FSO2 is NS) then (Fp is NM) (1)
23. If (Kv is PB) and (FSO2 is ZE) then (Fp is NM) (1)
24. If (Kv is PB) and (FSO2 is PS) then (Fp is NB) (1)
25. If (Kv is PB) and (FSO2 is PB) then (Fp is NB) (1)

Рис. 6 Функции принадлежности расхода диоксида серы

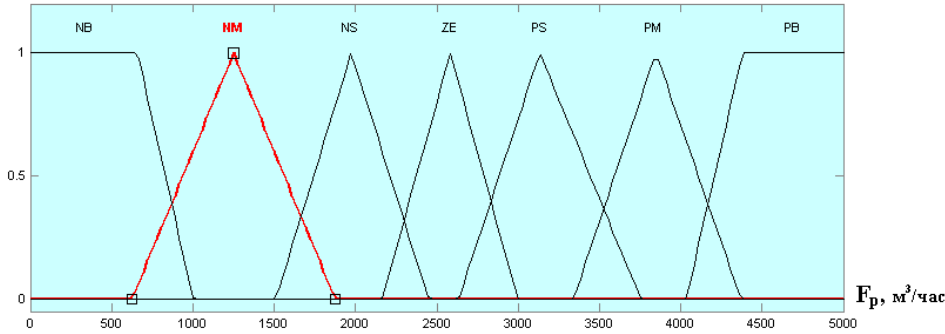


Рис. 7 Функции принадлежности расхода природного газа

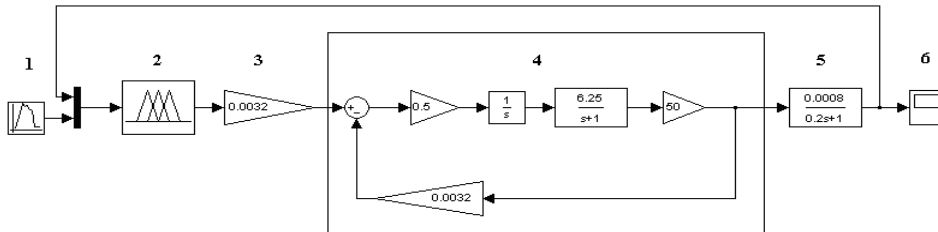


Рис. 8 Схема имитационного моделирования в программе SIMULINK:

- 1 – источник сигнала расхода диоксида серы; 2 – ВУ; 3 – усилительное звено (масштабирующий коэффициент); 4 – контур регулирования расхода природного газа; 5 – реактор-генератор; 6 – осциллограф – звено, с которого снимаются показания

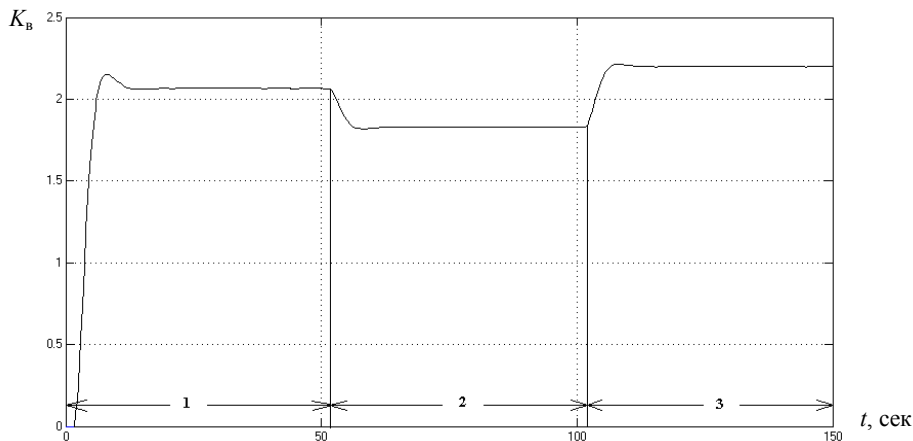


Рис. 9 Изменение значения K_v :

- 1 – номинальный режим; 2 – увеличение расхода диоксида серы на 10 %; 3 – уменьшение расхода диоксида серы на 10 %

В блоке дефаззификации определяется значение задания на расход природного газа F_p . При этом используются функции принадлежности расхода природного газа, приведенные на рис. 7, и состоящие из семи термов. Дополнительно введены термы NM и PM – соответственно, отрицательное среднее и положительное среднее.

По структурной схеме системы управления и алгоритму верхнего уровня разработана имитационная модель системы в программе SIMULINK (рис. 8).

Результаты моделирования представлены на рис. 9.

Список литературы

1 Вилесов, Н.Г. Утилизация промышленных сернистых газов / Н.Г. Вилесов, В.Г. Большунов. – Киев: Наукова. Думка, 1990. – 136 с.

2 Лукас, В.А. Основы теории автоматического управления / В.А. Лукас. – М.: Недра, 1977. – 376 с.

3 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Application of Ambiguous Logic in Control over the Process of Restoration of Sulphur Dioxide while Melting Sulfide Ore

A.I. Pisarev, M.Yu. Deryabin

Norilsk Industrial Institute

Key words and phrases: high temperature restoration of sulphur; sulphur dioxide; non-ferrous metallurgy; sulfide ore melting; factor of technogenic effect on the environment.

Abstract: “Methane” technique which means extraction of sulphur from gas is used to purify gases from sulphur dioxide. Parameter (restoration coefficient) showing the completeness of sulphur extraction is proposed in the paper.

© А.И. Писарев, М.Ю. Дерябин, 2006