УДК 681.3.068:669.162.12

Новикова Е.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ

В работе приведены результаты исследований влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов с использованием аппарата нечеткого логического вывода.

Ключевые слова: *теплофизические свойства, нечеткий вывод, нечеткий алгоритм.*

У роботі наведені результати досліджень впливу пористості на теплофізичні властивості залізорудних матеріалів з використанням апарату нечіткого логічного висновку.

Ключові слова: *теплофізичні властивості, нечіткий висновок, нечіткий алгоритм.*

The results of researches the influence of porosity on the thermal properties iron-ore materials using the apparatus of fuzzy logic.

Key words: *thermo physical properties, fuzzy inference, fuzzy algorithm.*

Введение. Математический аппарат теории нечетких множеств позволяет построить модель объекта, основываясь на нечетких рассуждениях и правилах. Нечеткие модели описывают явления и процессы реального мира на естественном языке с помощью лингвистических переменных. Эти преимущества обусловили широкое применение нечеткой логики для решения задач автоматического управления, принятия решений, прогнозирования в различных прикладных областях науки, техники и экономики [7].

Также в последнее десятилетие сделаны большие успехи в области развития теории формирования и упрочнения железорудных окатышей. Это позволило разработать и частично использовать в промышленности новые методы повышения эффективности производства и улучшения качества окатышей. Многие предложения, вытекающие из теории производства окатышей, еще не апробированы в промышленных условиях, но они свидетельствуют о том, что производство окатышей обладает крупными неиспользованными резервами.

Основы представлений о формировании окатышей заложены В.И. Коротичем [4]. В последнее время уточнено влияние различных факторов на процесс окомкования, в том числе – количества влаги, природы сил, действующих в пористой системе, заполненной водой, количества и типа связующего и др. Предложены различные показатели, характеризующие комкуемость шихты [2].

Глубоко исследован процесс сушки окатышей, который оказывает существенное влияние и на качество продукта, и на производительность обжиговых агрегатов. Показано, что на эффективность сушки, кроме тепловых и газодинамических характеристик, большое влияние

оказывают характеристики сырых окатышей, в том числе влажность, пористость, крупность и др. [3].

При теплотехнических расчетах схем газо-воздушных потоков обжиговых агрегатов и охладителей агломерата необходимо знать теплофизические свойства железорудных окатышей и агломератов – теплоемкость, тепло- и температуропроводность, которые зависят от химического и минерального состава материала и его физического состояния – температуры, плотности или пористости. В процессе сушки, нагрева и обжига теплофизические свойства окатышей и других материалов значительно изменяются в связи с протеканием в них экзо- или эндотермических реакций окисления магнетита, угля и сернистых соединений, испарения влаги и диссоциации гидратов и карбонатов, спекания и расплавления минералов. Представляет интерес обобщение имеющихся данных и получение общих закономерностей по теплофизическим свойствам [3].

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Задача состоит в том, чтобы разработать нечеткую модель процесса влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов, которая была бы реализована в виде системы нечеткого вывода и позволяла бы исследовать влияние пористости на теплофизические свойства железорудных материалов.

На рисунке 1 показано общую двухуровневую схему механизма ввода-вывода процесса влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов.

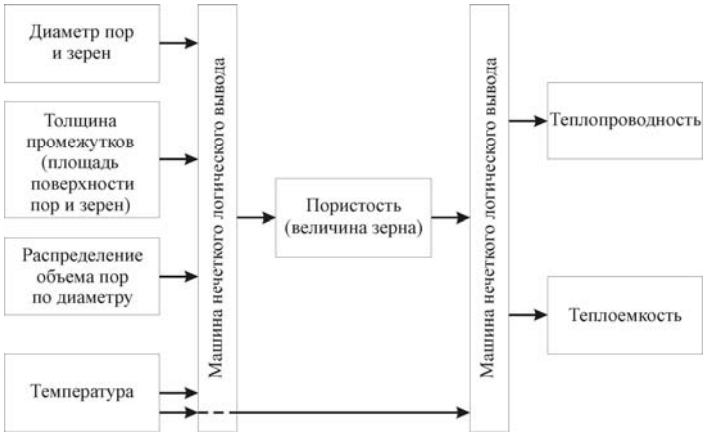


Рис. 1. Механизм нечеткого ввода-вывода процесса влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов

В качестве входных лингвистических переменных (ЛП) будем использовать терм-множества: T1, T2, T3, T4, T5:

1-я ЛП: T1 для входной переменной «Диаметр пор и зерен, мкм» имеет вид T1 = (min (1-3); norm (2-38); max (36-200));

2-я ЛП: T2 для входной переменной «Площадь поверхности пор и зерен, см2/г» имеет вид T2 = (min (400-1600); norm (1200-2400); max (2000-3200));

3-я ЛП: T3 для входной переменной «Распределение объема пор по диаметру, % » имеет вид T3 = (min (10-30); norm (20-50); max (40-100));

4-я ЛП: T4 для входной переменной «Температура, ºС» имеет вид T4 = (сушка (100-500); подогрев (450-1100); опал (900-1350));

5-я ЛП: T5 для входной переменной «Пористость, % » имеет вид T5 = (min (20-40); norm (36-48); max (44-60)).

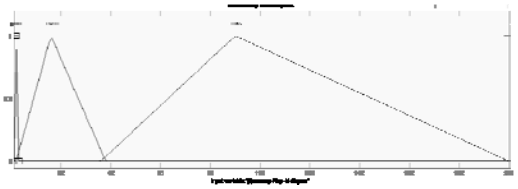
В качестве терм-множества выходной ЛП будем использовать множества P1, P2, P3:

6-я ЛП: P1 для выходной переменной «Пористость, % » имеет вид P = (min (20-40); norm (36-48); max (44-60));

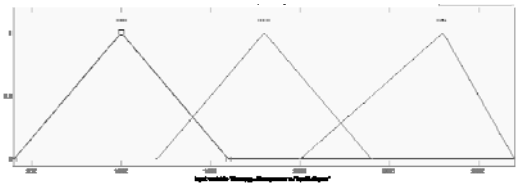
7-я ЛП: Р2 для выходной переменной «Теплопроводность, Вт/(м·град)» имеет вид Р = (min (0-1,2); norm (1,0-2,0); max (1,8 – 3));

8-я ЛП: Р3 для выходной переменной «Теплоемкость, кДж» имеет вид Р = (min (0-0,8); norm (0,7-1,4); max (1,2-2)).

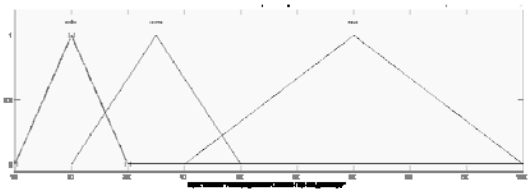
Для решения задачи фаззификации предлагаются треугольные и трапециевидные функции принадлежности, поскольку входные величины могут относиться к нескольким оценкам, с разной степенью уверенности (Рисунок 2 а, б, в, г, д) [6].



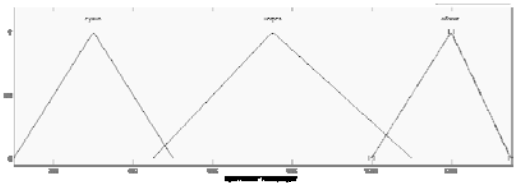
а) входная ЛП «диаметр пор и зерен»



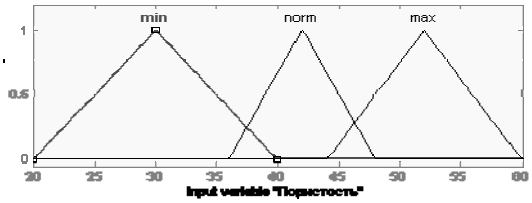
б) входная ЛП «температура площади поверхности пор и зерен»



в) входная ЛП «распределение объема пор по диаметру»



г) входная ЛП «температура»

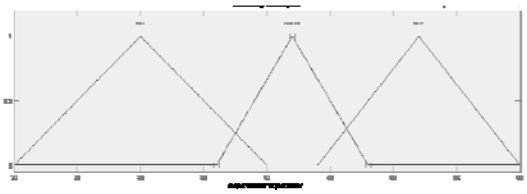


д) входная ЛП «пористость»

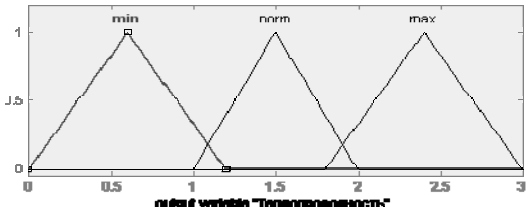
Рис. 2. Функции принадлежности входных ЛП

С учетом сделанных уточнений рассмотреная субъективная информация влиянии пористости на теплофизические свойства железорудных материалов может быть представлена в формате 26 правил нечетких продукций (алгоритм нечеткого вывода типа Мамдани).

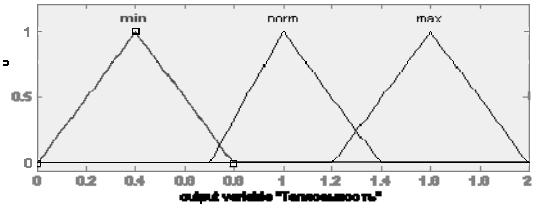
На рисунке 3 приведены функции принадлежности для механизма вывода (дефаззификации).



а) выходная ЛП «пористость»



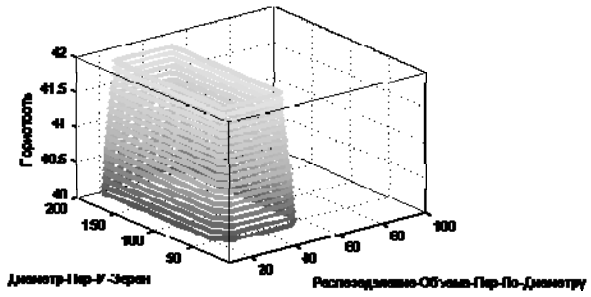
б) выходная ЛП «теплопроводность»



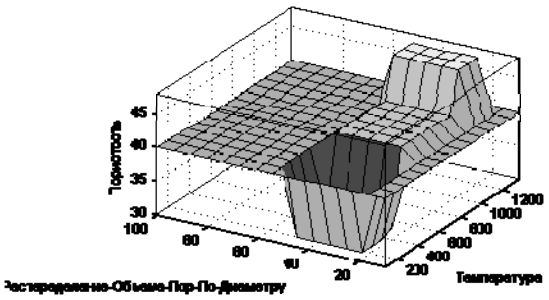
в) выходная ЛП «теплоемкость»

Рис. 3. Функции принадлежности выхода нечеткого контроллера

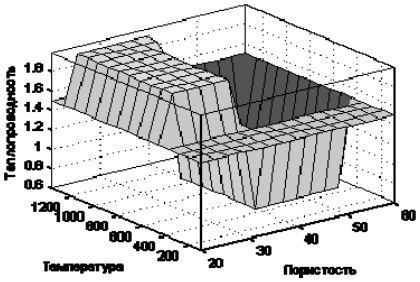
Для окончательного анализа разработанной нечеткой модели может оказаться полезной программа просмотра поверхностей нечеткого вывода (рисунок 4). Эта программа служить для общего анализа адекватности нечеткой модели, позволяет оценить влияние изменения значения входных нечеткий переменных на значение одной из выходных нечетких переменных [7, 8].



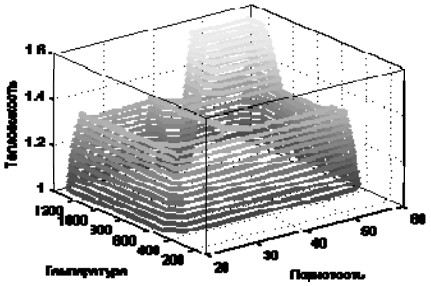
а) зависимость «пористости» от «диаметра пор и зерен» и «распределения объема пор по диаметру»



б) зависимость «пористости» от «распределения объема пор по диаметру» и «температуры»



в) зависимость «теплопроводности» от «температуры» и «пористости»



г) зависимость «теплоемкости» от «температуры» и «пористости»

Рис. 4. Поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели

Выводы. Впервые для построения модели процесса влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов применяется нечеткий подход, который позволяет принимать решения при исследовании влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов и повысить уровень информации о процессе на основании субъективных оценок экспертов.

Результатом моделирования двухуровневого процесса влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов было получено то, что при диаметре пор и зерен 101 мкм, площади поверхности пор и зерен 1573 см^2/г, распределения объема пор по диаметру 32,8 % и температуре 930 ^{0}С (зона обжига) пористость составляет 42 %, а при температуре 930 ^{0}С (зона обжига) и пористости 42 % теплопроводность составляет 0,6 Вт/м·град и теплоемкость – 1,34 кДж. Полученные результаты адекватны реальным объектам, полученным в работах [4, 5] исследователями Бережным Н.Н. и Мовчаном В.П., которые подтверждают применение аппарата нечеткого логического вывода и нечетких алгоритмов для исследования свойств железорудных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
2. Братчиков С.Г. Теплотехника окускування железорудного сырья. – «Металлургия», 1970, 344 с.
3. Кржижановский Р.Е., Штерн З.Ю. Теплофизические свойства неметаллических материалов (карбиды): Справочная книга. – Л.: «Энергия», 1977. – 119 с.
4. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. – М.: Металлургия, 1966. – 150 с.
5. Бережний М.М., Мовчан В.П. Збагачення та окускування сировини / Під редакцією д.т.н. М.М. Бережного. – Кривий Ріг, 2000. – 367 с.

6. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. – 224 с.
7. Новикова Е.Ю., Михалев А.И., Бубликов Ю.А. Нечеткая идентификация процесса микролегирования стали с карбонитридным упрочнением // Сучасні проблеми металургії: Наукові праці. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2006. – С. 113-127.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.: ил.

Рецензенты: д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П.,
д.т.н., проф. Казарєзов.А.Я.

© Новикова Е.Ю., 2009

Статья поступила в редакцию 20.09.09