

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ПО ИНФОРМАЦИИ, ФИКСИРУЕМОЙ В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

(Кац М.Д., Давиденко А.М. (Укр ГНТЦ "ЭНЕРГОСТАЛЬ").

Анализ работы доменных печей показал, что все они работают не в оптимальных режимах и имеют существенные вариации по входным параметрам (проплавку железорудного сырья, суточному расходу кокса, расходу и давлению и температуре дутья, содержанию кислорода в дутье, расходу природного газа и др.) и, соответственно, выходным показателям (удельному расходу кокса, производительности, химическому составу получаемого чугуна и др.).

Эти вариации и неоптимальность функционирования объясняется в первую очередь:

1. Сложностью и недостаточной изученностью доменного процесса. (Процессы образования чугуна и шлака в доменной плавке очень сложны. Многие вопросы остаются неясными даже специалистам. [1, с.71.]);
2. Отсутствием документа, регламентирующего допустимые значения диапазонов входных параметров процесса (технологического регламента, без которого, например, не работает ни одно производство в химической технологии).
3. Необходимостью работникам цеха в условиях неполной информации о процессе и недостаточных знаниях о взаимосвязях между входными параметрами и выходными показателями принимать ответственные решения по управлению процессом [2]:
  - п.2.1.2. Состав шихты для каждой печи устанавливает начальник доменного цеха.
  - п.3.1.2. Соотношение отдельных сортов агломерата, окатышей, руд, добавок и прочих материалов в доменной печи устанавливает начальник цеха.
  - п.3.1.5. Величину рудной нагрузки устанавливает мастер доменной печи.
  - п.4.2.14. Уровень засыпи, размер железнорудной колоши, цикл работы загрузочных устройств, режим вращающегося распределительного органа устанавливает начальник цеха или его заместитель по технологии.
  - п.4.4.10. Оптимальная величина теоретической температуры горения зависит от условий плавки и устанавливается начальником цеха в технологической карте, с указанием допустимых отклонений от среднего значения.
4. Отсутствием математических моделей, адекватно описывающих зависимость выходных показателей от каждого из параметров технологического режима, учитывающих индивидуальность изучаемой доменной печи. (Для обоснованного выбора направления совершенствования доменного процесса требуется количественная оценка взаимосвязи показателей плавки и параметров процесса. [3, с.10]).
5. Высокой степенью индивидуальности доменных печей, проявляющейся в том, что влияние одних и тех же входных параметров на показатели плавки в разных доменных печах существенно различно, в некоторых случаях даже качественно.

В силу указанных причин все домны имеют существенные резервы по повышению эффективности своей работы. Например, средний расход кокса на 1 т чугуна в Украине 557 кг, а за рубежом менее 390 кг (на 43% ниже). [4]. Технические резервы совершенствования доменного процесса еще достаточно велики даже для лучших печей. [3, с.6].

### НОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА.

Для изучения зависимости выходных показателей от шихтовых, дутьевых и режимных параметров доменной плавки предложен новый метод, названный методом восстановления одномерных зависимостей (МВОЗ). [5]. МВОЗ позволяет по экспериментальной информации, фиксируемой в режиме нормальной эксплуатации, строить содержательные модели  $Y=F(X_i)$ ,  $i=1, n$ , описывающие зависимости выходного показателя  $Y$  от каждого из  $n$  входных параметров).

Постановка задачи:

Дано - таблица экспериментального материала, в каждой строке которой приведены среднесуточные значения входных параметров и выходного показателя. Объём информации 60-90 строк (2-3 месяца работы).

По данным о времени простоев и количестве выпусков металла в сутки проводится корректировка исходной таблицы (строки, соответствующие суткам с большими простоями и нерегламентированным количеством выпусков из таблицы удаляются).

Необходимо - по исходным данным, приведенным в таблице, построить модели зависимости  $Y=F(X_i)$ ,  $i=1, n$ .

#### **Алгоритм построения модели.**

1. Диапазон вариаций значений 1-ого параметра разделяют на 3 поддиапазона из условия попадания в каждый из них примерно одинакового количества строк. В результате разбиения определяются границы поддиапазонов (1-ый поддиапазон D1: от  $X_1 \min$  до  $gr_1$ ; 2-ой поддиапазон D2: от  $gr_1$  до  $gr_2$ , 3-ой поддиапазон D3: от  $gr_2$  – до  $X_1 \max$ ).
2. Определяют средние значения  $X_1$  в каждом поддиапазоне ( $X_{1D1} \text{ ср}$ ,  $X_{1D2} \text{ ср}$ ,  $X_{1D3} \text{ ср}$ ).
3. Определяют средние значения  $Y$ , соответствующие строкам, входящим в 1-ый ( $Y_{x1D1} \text{ ср}$ ), 2-ой ( $Y_{x1D2} \text{ ср}$ ) и 3-ий поддиапазоны ( $Y_{x1D3} \text{ ср}$ ).
4. По координатам 3-х точек, полученных по пп.2,3 строят зависимость  $Y=F(X_1)$ .
5. Повторяют пп.1-4 последовательно для каждого из  $n$  входных параметров.

#### **Обоснование адекватности математической модели.**

В построении модели  $Y=F(X_i)$ , участвуют только 2 вектор-столбца ( $X_i$  и  $Y$ ), а на выходной показатель  $Y$  влияют не только параметры, зафиксированные в исходной таблице, но и все остальные ненаблюдаемые параметры, характеризующие технологический режим и индивидуальность доменной печи.

Если изучаемая зависимость не существенна, она не будет обнаружена. (Средние значения  $Y$  в различных поддиапазонах будут иметь практически одно и то же значение). Существенные зависимости проявляются на уровне шумов остальных параметров. (Средние значения  $Y$  в различных поддиапазонах будут иметь различные значения).

Таким образом, каждая из полученных зависимостей  $Y=F(X_i)$ ,  $i=1, n$  адекватно описывает изучаемую доменную печь.

#### **Анализ изучаемого доменного процесса по математической модели, построенной с помощью МВОЗ.**

Влияние технологических факторов на удельный расход кокса и производительность доменной печи достаточно хорошо изучены и приводятся в Типовой технологической инструкции [2] и большинстве вышедших в последние годы монографий по металлургии чугуна, например, в [3, 6-8]. Однако при изучении работы конкретных печей оказывается, что во многих случаях эти общие зависимости не соблюдаются.

Это объясняется в первую очередь высокой индивидуальностью доменной печи, которая определяется "совокупностью условий, включающих качество шихты и конструктивные особенности агрегатов, параметры технологии и особенности её организации, а также методы контроля и управления процессами плавки". [7, с.7]. "Для выплавки одного и того же сорта чугуна, но в разных печах одного цеха неизбежно требуются различные шлаковые режимы, что объясняется особенностями их дутьевого режима, объёма, профиля, настывлей, разгара кладки, состояния засыпного аппарата и т.д." [6, с.205].

Математическая модель, полученная с помощью предлагаемого метода, позволяет оценить влияние каждого входного параметра на выходные показатели для конкретной доменной печи.

Кроме этого с помощью моделей  $Y=F(X_i)$ ,  $i=1, n$  решаются следующие задачи.

##### **1. Качественный анализ эффективности работы изучаемой домны.**

Одномерные зависимости могут иметь следующий характер:

- монотонные возрастающие;
- монотонные убывающие;
- экстремальные;

Монотонные зависимости показывают, что по соответствующим параметрам оптимум выходного показателя лежит за пределами диапазона их значений в экспериментальных данных (имеются существенные резервы повышения эффективности работы доменной печи).

Экстремальные зависимости с направлением экстремума, совпадающим с требуемым направлением изменения выходного показателя, свидетельствуют о правильно выбранном диапазоне значения соответствующей переменной. В этом случае для повышения эффективности работы следует уменьшить диапазон варьирования соответствующего входного параметра вокруг его среднего значения.

Экстремальные зависимости с направлением экстремума, не совпадающим с требуемым направлением изменения выходного показателя, свидетельствуют о том, что оптимальное значение находится за пределами диапазона варьирования данного параметра.

Соотношение количества параметров с экстремальными зависимостями, совпадающим с требуемым направлением изменения выходного показателя, к общему количеству входных параметров может служить качественной оценкой эффективности конкретного технологического процесса доменной плавки.

## **2. Ранжирование входных параметров по силе их влияния на выходной показатель.**

Разность средних значений  $Y$  в различных поддиапазонах разных переменных может служить оценкой их силы. Чем больше разность между  $\max$  и  $\min$  значениями  $Y$  ср для переменной  $X_i$ , тем сильнее влияет она на выходной показатель. (Кстати, эта разность измеряется в единицах выходного показателя).

## **3. Ранжирование входных параметров по величине их резерва по выходному показателю.**

Разность между средним значением выходного показателя в "лучшем" поддиапазоне параметра  $X_i$  и средним значением выходного показателя во всех строках исходного экспериментального материала характеризует резерв параметра  $X_i$  по выходному показателю  $Y$ .

## **4. Оптимизация технологического режима изучаемого доменного процесса.**

Суть оптимизации доменного процесса заключается в выборе для каждого из входных параметров ( $X_i$ ) того поддиапазона значений ( $D_j$ ,  $j=1,3$ ), которому в математической модели  $Y=F(X_i)$ ,  $i=1,n$  соответствует наилучшее среднее значение выходного показателя ( $Y$ ).

## **5. Технологический аудит.**

Технологический аудит – оценка резерва изучаемого процесса по заданным выходным показателям (экономическим, энергетическим, ресурсным, экологическим и потребительским), которые могут быть реализованы за счёт оптимизации технологического режима доменной плавки на существующем оборудовании, с использованием существующих систем информационного обеспечения и управления (т.е. без дополнительных капитальных затрат).

\*\*\*\*\*

Ниже, на примере изучения и оптимизации технологического процесса доменной плавки в ДП2 ОАО "Северсталь", показана процедура решения указанных выше задач.

## **ВЫВОДЫ.**

Предложен, научно обоснован и апробирован новый метод изучения действующих металлургических производств, позволяющий на основании экспериментальных данных, фиксируемых в режиме нормальной эксплуатации:

1. Изучить фактические зависимости выходных показателей от каждого из выходных параметров.
2. Оценить величину силы и резерва выходного показателя по каждому из входных параметров.
3. Оценить резервы конкретного доменного процесса по изучаемому выходному показателю (удельному расходу кокса, производительности, себестоимости чугуна и т.п.)
4. По математической модели  $Y=F(X_i)$ ,  $i=1, n$  определить параметры технологического режима, оптимального по заданному критерию  $Y$ .

#### Литература.

1. В.И.Коротич, С.Г.Братчиков. Metallургия чёрных металлов. - М.: Metallургия, 1987. 240 с.
2. Типовая технологическая инструкция по доменному производству. Институт чёрной металлургии, Днепропетровск, 1989 г.
3. Товаровский И.Г. Совершенствование и оптимизация параметров доменного процесса. М.: Metallургия, 1987 г. -192 с.
4. А.Ф.Гринёв. Проблемы, эксперимент, закон. Metallургическая и горнорудная промышленность. 1/2001, с.1-5.
5. Давиденко А.М., Кац М.Д. Новые методы изучения действующих производств и их возможности. Восточно – Евро-пейский журнал передовых технологий, 6 (12), 2004, с. 189 – 193.
6. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвинеv А.Н. и др. Metallургия чугуна. М.: Metallургия, 1989. 512 с.
7. И.Г.Товаровский, В.В.Севернюк, В.П.Лялюк. Анализ показателей и процессов доменной плавки. Днепропетровск, "Пороги", 2000 г. с.420.
8. И.Г.Товаровский, В.П.Лялюк. Эволюция доменной плавки. Днепропетровск, "Пороги", 2001 г. с.424.