УДК 004.9

А.Ю. Гусев, Ю.П. Рыбальченко

ГВУЗ "Национальный горный университет", Днепр

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТВА ЧУГУНА НА ВЫПУСКЕ

В статье предложен метод оценки и прогноза содержания кремния в чугуне на выпуске доменной печи, использующий нейронечеткий подход, свободный от недостатков классических методов, и позволяющий повысить точность и достоверность информации о химическом составе чугуна.

Ключевые слова: *нейронечеткий метод, химический состав чугуна, кремний, оценка, прогноз.*

Введение

Прогноз содержания кремния в чугуне является одной из задач металлургии, которую до настоящего времени не удалось полностью решить с использованием традиционных методов исследований. В современной технологии доменного производства содержание кремния определяется только после выпуска, что вносит значительное запаздывание в процесс корректировки управляющих воздействий ходом доменной плавки. Таким образом, прогнозирование содержания кремния в чугуне является важной задачей, успешное решение которой позволит надежно обеспечить управление качеством выпускаемого чугуна.

Постановка задачи. Для эффективного решения задачи оценки и прогнозирования химического состава чугуна предлагается использовать нейронечеткий подход, свободный от недостатков классических методов фильтрации и прогноза.

Цель статьи. Исследование алгоритма оценки и прогноза с использованием нейронечеткого метода, позволяющего повысить точность и достоверность информации о химическом составе чугуна.

Изложение основного материала

Химический состав чугуна определяется тепловым состоянием нижней зоны доменной печи и химическим составом загружаемой шихты. Химический состав чугуна можно разделить по основным сопутствующим элементам: кремний, марганец, сера и фосфор. По содержанию этих элементов определяется качество чугуна [1].

Для определенности рассмотрим процесс оценки и прогноза кремния. Кремний приходит в печь с пустой породой железорудных материалов и с золой кокса в виде кремнезема – SiO_2. Этот оксид относится к трудновосстановимым и восстановление кремния из него происходит прямым путем в области высоких температур, протекающих на границе раздела металл/шлак:

$$SiO_2 + 2C = Si + CO - 22{,}7 \text{ МДж/кг Si}. \quad (1)$$

Расчеты показывают, что восстановление кремния по этой схеме начинается при очень высокой температуре – выше 1350 °С.

В доменных печах кремний восстанавливается в небольших количествах с поглощением большого количества тепла. Довольно хорошая зависимость восстановления кремния с ростом температуры плавки позволяет оперативному персоналу рассматривать его содержание в химическом анализе чугуна как показатель степени разогрева горна. Анализ многочисленных исследований показывает, что такое утверждение верно только для ровного хода печи. Во многих же случаях уровень содержания кремния в чугуне можно трактовать только как локальный разогрев участка печи. Однако, содержание кремния в чугуне остается важнейшим показателем, для технологического персонала. В доменной печи кремний восстанавливается в небольших количествах и только прямым путем по формуле (1) или:

$$(SiO_4^{4-}) + 4[C] = [Si] + 2(O^{2-}) + 2\{CO\}\uparrow.$$

Реакция окисления кремния, растворенного в железе, идет в небольших количествах:

$$[Si] + 2[O] + 2(O^{2-}) = (SiO_4^{4-}),$$

кроме того, реакция также идет на границе раздела чугун/шлак

$$[Si]+2(Fe^{2+}) + 4(O^{2-}) = 2[Fe] + (SiO_4^{4-}).$$

Таким образом, доменные шлаки имеют как катион Fe^{2+} , так и анионы SiO_4^{4-}, O^2.

Современная доменная плавка, являясь исключительно сложным и энергоемким процессом, характеризуется огромным числом (порядка 400) контролируемых параметров.

Эффективное управление процессом требует постоянной оценки этих параметров. В условиях современного производства специалисты стремятся контролировать максимально доступное число параметров плавки. Информация хранится в базах данных и в той или иной мере используется автоматизированными системами управления и системами поддержки принятия решений на уровне отдельных печей или доменного цеха в целом.

© Гусев А.Ю., Рыбальченко Ю.П.., 2017

Для прогноза химического состава чугуна и шлака применялось множество методов прогноза временных рядов, таких как метод группового учета аргументов (МГУА), нечеткий метод группового учета аргументов (НМГУА) [2], четкие и нечеткие нейронные сети, метод адаптивной авторегрессии [3]. Особое место в методах прогнозирования занимает фильтр Калмана, широко используемый при прогнозировании как теплового состояния доменной печи так и химического состава чугуна на выпуске [4]. Его преимущество заключаются в том, что он удобендля цифровых вычислений в реальном масштабе времени, имеет рекуррентную форму и легко обобщается на многомерный и нестационарный случай. К основным недостаткам калмановской фильтрации можно отнести относительно большой объем необходимой априорной информации, которая, как правило, точно не известна. В первую очередь это относится к статистическим характеристикам шумов состояния и шумов измерения. Поэтому при практическом использовании фильтра Калмана может наблюдаться неограниченное возрастание фактических ошибок фильтрации во времени, которое известно как явление расходимости фильтра [5] и заключается в увеличении ошибки смещенности. Для предотвращения расходимости фильтра на практике широко используют методы субоптимальной фильтрации, основанные на искусственном завышении коэффициента усиления фильтра. Априорная неопределенность начальных параметров при построении математической модели оцениваемых процессов характерна и для прогнозирования содержания кремния в чугуне на выпуске доменной печи.

Для повышения точности прогнозирования содержания кремния нами использован нейронечеткий подход [6], который позволяет прогнозировать содержание кремния на 10 выпусков вперед с ошибкой менее 10%.

Эффективность предложенного метода прогноза иллюстрируется рис. 1 по данным, полученным на доменной печи № 6 Нижнетагильского меткомбината.

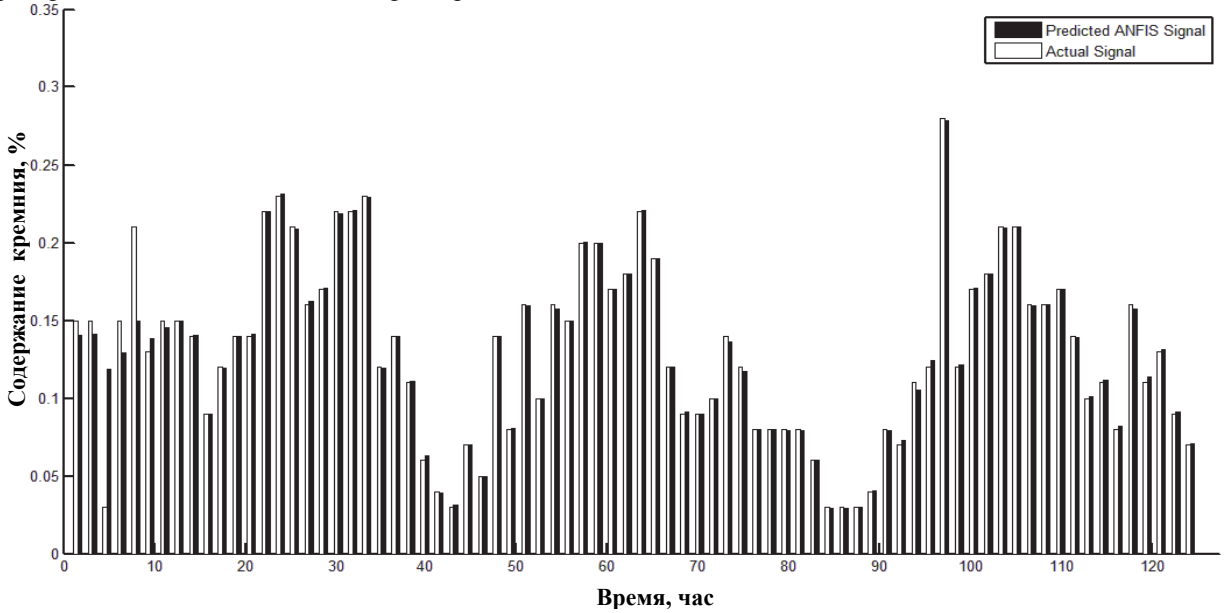
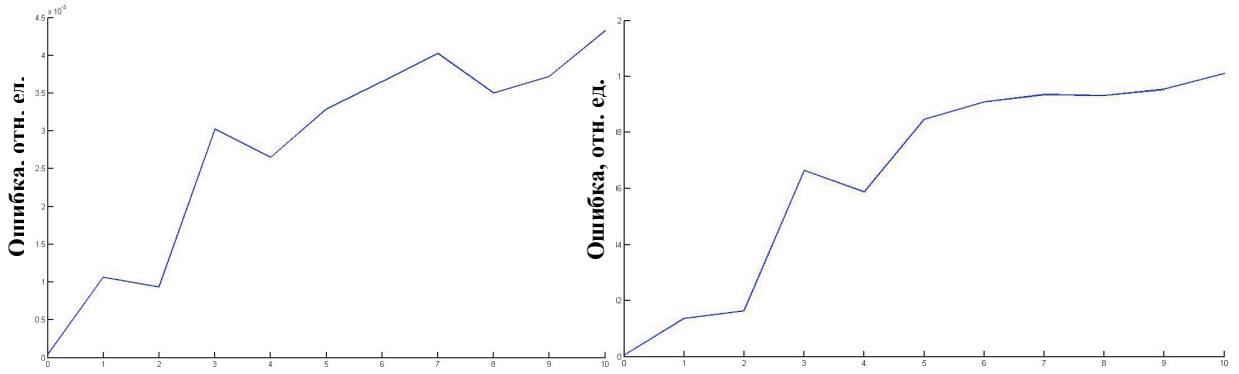


Рис. 1. Гистограммы: белый цвет – значения содержания кремния в чугуне на выпуске; черный цвет – прогноз значений кремния на один выпуск вперед

Относительная погрешность прогноза составила 9,7% при прогнозе на 10 выпусков вперед, что соответствует примерно 23 ч. работы доменной печи (рис. 2, б). При этом приведенная погрешность (рис. 2, а) составляет менее 0,5%, что может быть объяснено небольшим количеством (массовой доли) кремния в чугуне и шлаке на выпуске. Из рис. 2 видно, что ошибка прогноза на 10 выпусков вперед распределяется неравномерно с резким изменением приведенной и относительной ошибки свидетельствующей о неравномерной работе доменной печи. Но при этом можно утверждать, что изменение химического состава (кремния) всегда имеет примерно постоянный диапазон максимального и минимального количественного уровня, при постоянстве общей массы шихтовых материалов для конкретной доменной печи. Колебания исходного кремния в шихте загружаемой в доменною печь ΔSi; менее 0,5%, а относительная восстанавливаемость кремния меньше 5%, т.е. изменения содержания кремния в шихте мало отражается на его вариации в чугуне. Влияние шлакового режима на восстанавливаемость кремния так же невелико. Исходя из вышесказанного, можно для увеличения точности прогноза задать максимальный уровень содержания кремния и, тем самым, уменьшить количество эпох обучения нейронечеткой сети.



а б

Рис. 2. Зависимость величины ошибки от глубины прогноза: а – приведённая; б – относительная

Однако, чем меньше количество шлака, тем легче повысить температуру в горне, тем самым повысить содержание кремния в чугуне. Для точного расчета теплового состояния, основанного на оценке содержания кремния, необходимо учитывать перечисленные факты, хотя в целом, можно считать поведение кремния «независимым» от них. «Относительная независимость» содержания кремния в чугуне от его количества в шихте и шлакового режима является основной причиной, почему этот элемент является критерием оценки «теплового состояния».

Выводы

1. Показано, что применение нейронечеткой сети для решения задач прогноза количественного содержания кремния в чугуне доменной печи возможно только при использовании базы данных. Это обусловлено значительным объемом анализируемой информации о ходе доменного процесса.

2. Применение нейронечеткой сети по сравнению с классическими методами позволяет прогнозировать химический состав чугуна и шлака на более длительный период с меньшими ошибками прогноза.

Список литературы

1. Федулов Ю.В. Достоверность информации о составе и температуре чугуна / Ю.В. Федулов // Металлург. – 1979. – №11. – С. 18-19.

2. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: учебное пособие / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2008. – 344 с.

3. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования / Ю.П. Лукашин. – М.: Статистика, 1979. – 253 с.

4. Гусев А.Ю. Оценка и прогноз хода доменной печи с помощью модифицированного фильтра Калмана / А.Ю. Гусев, В.Г. Макиенко, Ю.П. Рыбальченко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №2. – С. 82-84.

5. Згуровский М.З. Аналитические методы калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью / М.З. Згуровский, В.П. Подладчиков. – К.: Наукова думка, 1995. – 283 с.

6. Гусев А.Ю. Информационная технология оценки и прогноза тепловых процессов металлургических агрегатов / А.Ю. Гусев, Ю.П. Рыбальченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 5(95). – С. 33-35.

Поступила в редколлегию 19.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук доц. В.И. Корниенко, ГВУЗ “Национальный горный университет”, Днепр.

ОЦІНКА І ПРОГНОЗ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЧАВУНУ НА ВИПУСКУ

О.Ю. Гусєв, Ю.П. Рибальченко

У статті запропоновано метод оцінки і прогнозу вмісту кремнію в чавуні на випуску доменної печі, що використовує нейронечіткий підхід, вільний від недоліків класичних методів, та дозволяє підвищити точність і достовірність інформації про хімічний склад чавуну.

Ключові слова: *нейронечіткий метод, хімічний склад чавуну, кремній, оцінка, прогноз.*

EVALUATION AND PREDICTION OF CHEMICAL COMPOSITION IN THE PRODUCTION OF CAST IRON

A. Gusiev, Yu. Rybalchenko

The article proposes a method for estimating and forecasting the silicon content in cast iron at the blast furnace output, using a neuron-fence approach, free from the drawbacks of classical methods, and allowing to increase the accuracy and reliability of information on the chemical composition of cast iron.

Keywords: *neuron-fuzzy method, chemical composition of cast iron, silicon, estimation, forecast.*