

№ зоны	1	2	4	5	6	10	11
Fб	0,09	0,1182	0,09	0,075	0,090	0,0198	0,0135
Fм	0,0033	0,0412	0,034	0,024	0,0304	0,0058	0,0038

После расчетов труб Вентури необходимо сделать и испытать трубу, выдает ли она прежние перепады давлений. Этим в России занимаются надзорные органы.

В ходе проделанной работы, можно сделать вывод, что перевод отопления металлургической печи со смеси доменного и природного разов на отопление природным газом вполне реализуемая задача. Данную задачу можно решить минимальными затратами на реконструкцию печи.

УДК 669.046.5

А. В. Феоктистов, С. В. Морин, С. А. Бедарев, С. А. Казимиров, М. В. Темлянецв

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ МАТЕРИАЛОВ В ТВЕРДОТОПЛИВНОЙ НИЗКОШАХТНОЙ ПЕЧИ

Аннотация

Разработанная ранее математическая модель процесса выплавки чугуна и силикатных материалов прошла настройку и верификацию с учетом требований по интенсификации процесса и использованием результатов промышленных экспериментов по выплавке чугуна в низкошахтных печах с применением дутья, обогащенного кислородом. В существующую модель были включены дополнительно три блока, учитывающие расчет скорости движения и времени горения угольных частиц, расчет кислородной зоны и окислительно-восстановительной зоны. Погрешность расчета температуры чугуна не превышает ± 12 °С. Принимая во внимание комплексность математической модели, возможность учета взаимосвязи факторов и процессов, имеющих различную физическую природу, а также ее область применения и назначение, модель признана достоверной, а ее точность удовлетворительной для прогнозных и инженерных расчетов.

Ключевые слова: низкошахтные печи, математическая модель, плавка чугуна, интенсификация процесса плавки, обогащение дутья кислородом.

Abstract

The previously developed mathematical model of the smelting process for cast iron and silicate materials was customized and verified taking into account the requirements for intensifying the process and using the results of industrial experiments on smelting pig iron in low-ash furnaces using oxygen-blown blasting. Three blocks were added to the existing model, considering the calculation of the speed of movement and the burning time of coal particles, calculation of the oxygen zone and the redox zone. The error in calculating cast iron temperature does not exceed ± 12 °C. Taking into account the complexity of the mathematical model, the possibility of consideration the interconnection of factors and processes having different physical origin, as well as its scope and

purpose, the model is recognized as reliable, and its accuracy is satisfactory for forecasting and engineering calculations.

Key words: *low-pit furnaces, mathematical model, cast iron smelting, intensification of the smelting process, oxygen blast enrichment.*

В работе [1] коллективом ученых под руководством И.Ф. Селянина разработана и реализована комплексная детерминированная математическая модель процесса плавки чугуна в низкошахтной печи. Она включает в себя следующие блоки: динамику движения газов и материалов в шахте печи; кинетику газообразования в слое кокса топливной насадки; нагрев шихты до точки плавления; глубину зоны плавления и теплообмен при плавлении; теплообмен при нагреве жидкого металла; потери тепла через стенки шахты; физико-химические процессы образования шлака, окисления и восстановления элементов. При этом математическая модель верифицирована и для проверки точности и адекватности численного моделирования использованы результаты экспериментов, проводимых на промышленных низкошахтных печах.

Однако данная математическая модель имеет ограниченные возможности в части исследования влияния различных способов интенсификации плавки, например подогрев, обогащение дутья кислородом, применение пылеугольного топлива на тепловую работу низкошахтной печи. Этот факт предопределяет перспективность продолжения работ в области развития и совершенствования комплексных детерминированных математических моделей процессов плавки материалов в низкошахтных печах.

Технология плавки чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах должна обеспечивать получение расплава необходимой температуры при соответствующих расходах топлива, дутья и заданной производительности печи. Соответственно задача управления процессом плавки в низкошахтных печах осложняется одновременным влиянием изменений расхода кокса и дутья на температуру и производительность печи [2].

Анализ номограмм, используемых для управления процессом шахтной плавки, свидетельствует о необходимости продолжения работ по определению взаимосвязи между технологическими параметрами при разработке технологий ресурсосбережения, интенсификации. В частности, для печей с подогревом дутья в число основных управляющих параметров должна быть включена температура дутья.

Для разработки детерминированной математической модели потребовалось уточнение ряда известных и получение новых расчетных соотношений для определения высоты кислородной зоны и температуры поверхности кусков топлива в слое топливной насадки.

В работе для дальнейшего совершенствования за основу была принята математическая модель, представленная в работе [1]. В ее структуру добавлены три новых блока, показанные на рисунке 1 (выделены цветом). Блок 1.1 (используется при применении пылеугольного топлива (ПУТ)) предназначен для расчета времени горения ПУТ в кислородной зоне, блоки 2 и 3 изменены с учетом добавления ПУТ в дутье, подогрева и обогащения дутья кислородом.

Блоки для расчета теплообмена между твердой шихтой, жидкими продуктами плавки и газовым потоком, процессов выноса шлака в верхние горизонты шахты, потерь тепла через кладку шахты и подину печи изложены в работе [3], их содержание осталось неизменным.

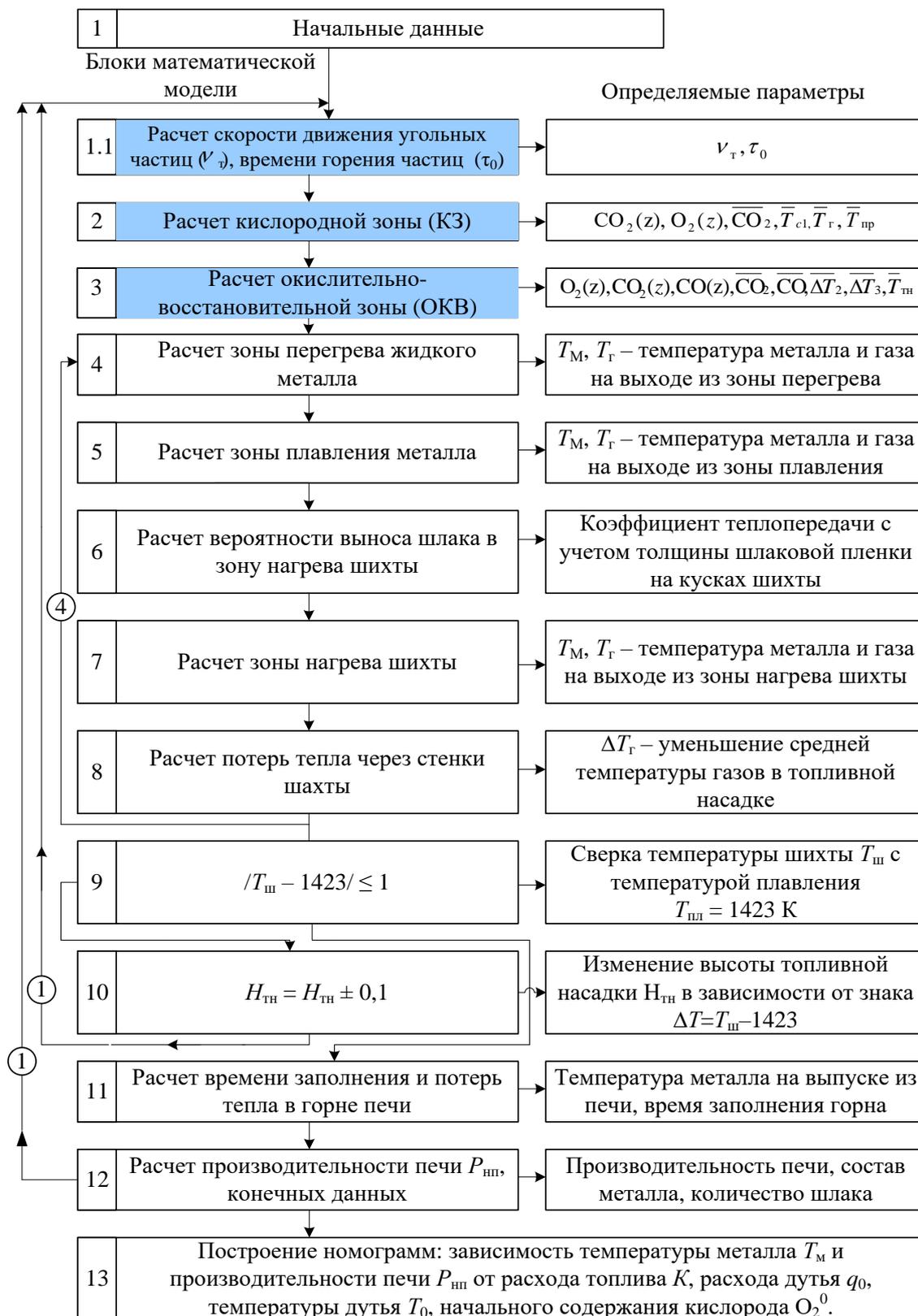


Рис. 1. Структура математической модели

Настройку и верификацию математической модели проводили с использованием результатов промышленных экспериментов по плавке чугуна в низкошахтных печах с применением дутья, обогащенного кислородом. На рисунке 2, в качестве примера, показаны результаты математического моделирования, а именно расчета с применением разработанной модели температуры чугуна в зависимости от содержания кислорода в дутье (сплошная линия), точками показаны экспериментальные данные. Погрешность расчета температуры чугуна не превышает ± 12 °С. Принимая во внимание комплексность математической модели, возможность учета взаимосвязи факторов и процессов, имеющих различную физическую природу, а также ее область применения и назначение, модель признана достоверной, а ее точность удовлетворительной для прогнозных и инженерных расчетов.

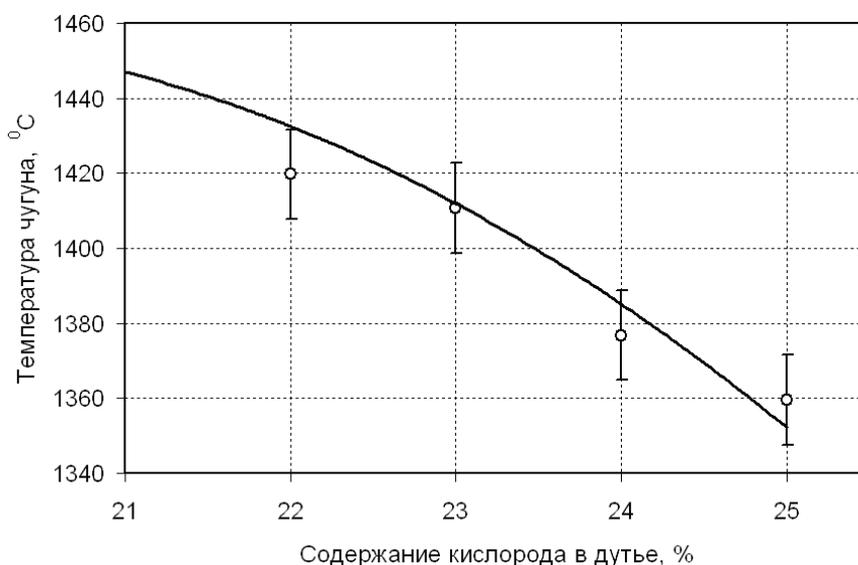


Рис. 2. Результаты определения температуры чугуна в зависимости от обогащения дутья кислородом: сплошная линия – математическое моделирование; точки – экспериментальные данные

С применением разработанной математической модели проведено исследование влияния различных способов интенсификации плавки материалов в НШП, в частности подогрева и обогащения дутья кислородом, на газообразование и высоту кислородной зоны в топливной насадке. При проведении многовариантных расчетов температуру дутья задавали в интервале 300 – 700 К, содержание кислорода в дутье 21 – 25 %, порозность кокса 0,5, размер кусков кокса 60 мм, удельную подачу дутья $1,75 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. На рисунках 3 и 4 представлены распределения газов по высоте топливной насадки при различных значениях температуры подогрева дутья и содержания кислорода в дутье соответственно.

Анализ полученных результатов показывает, что подогрев и обогащение дутья кислородом оказывают существенное влияние на процессы горения кокса и газообразование. Подогрев дутья с 300 до 700 К приводит к снижению высоты

кислородной зоны, которая может быть идентифицирована по максимуму содержания CO_2 (на рисунке 2 показаны точками), с почти 0,4 до 0,2 м, т.е. фактически в 2 раза, уменьшению содержания CO_2 и увеличению содержания CO .

Обогащение дутья кислородом с 21 до 25 % оказывает на высоту кислородной зоны аналогичное влияние, сокращая ее примерно в 1,8 раза. Характерно, что обогащение дутья кислородом при снижении высоты кислородной зоны приводит к росту содержания CO при почти неизменном распределении содержания CO_2 по высоте топливной насадки, но при одновременном увеличении остаточного кислорода от 0,5 до 2,0 %, который расходуется на окисление примесей чугуна.

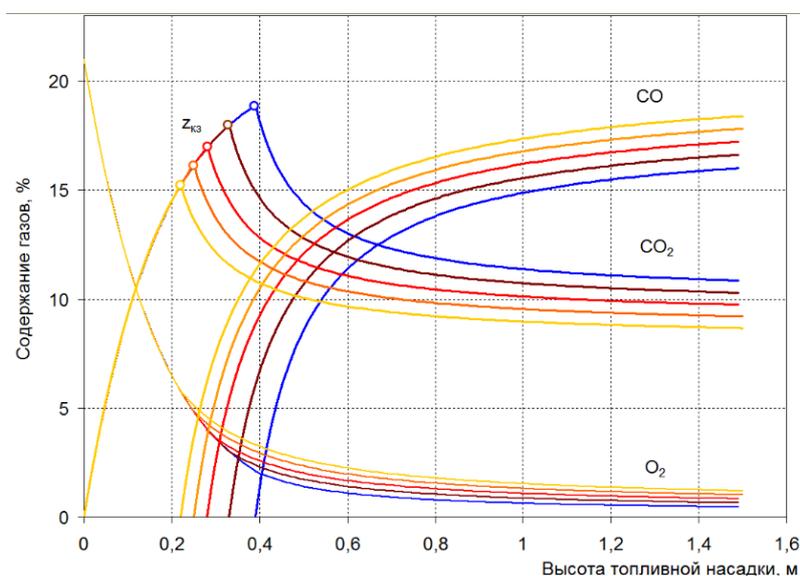


Рис. 3. Распределение газов по высоте топливной насадки при различных значениях температуры подогрева дутья:
 — 300 К; — 400 К; — 500 К; — 600 К; — 700 К

Выводы. При разработке детерминированной математической модели были уточнены известные и получены новые расчетные соотношения для технологических параметров плавки. Математическая модель прошла настройку и верификацию с использованием результатов промышленных экспериментов по плавке чугуна в низкошахтных печах с применением дутья, обогащенного кислородом. Погрешность расчета температуры чугуна не превышает ± 12 °С. Принимая во внимание комплексность математической модели, возможность учета взаимосвязи факторов и процессов, имеющих различную физическую природу, а также ее область применения и назначение, модель признана достоверной, а ее точность удовлетворительной для прогнозных и инженерных расчетов.

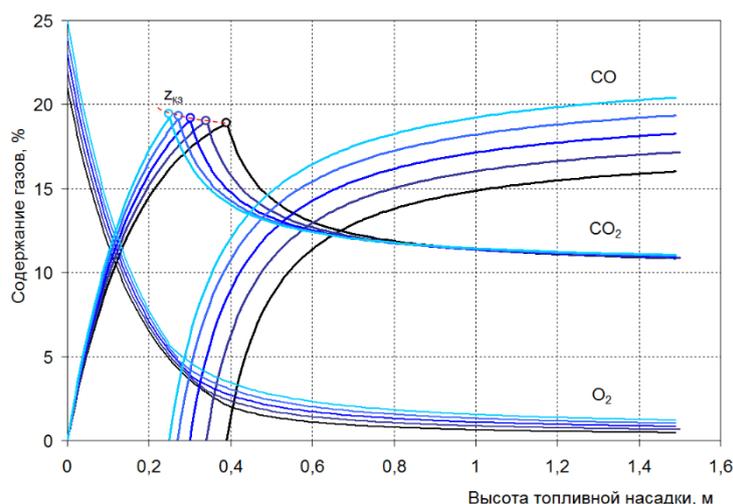


Рис. 4. Распределение газов по высоте топливной насадки при различных значениях содержания кислорода в дутье: — 21 %; — 22 %; — 23 %; — 24 %; — 25 %

Список использованных источников

1. Селянин И.Ф. Теория и практика интенсификации технологического процесса в шахтных печах малого диаметра: в 3 т. Т. 1 / И.Ф. Селянин, А.В. Феоктистов, С.А. Бедарев. – М.: Теплотехник, 2010. – 379 с.
2. Чернышов Е.А. Плавильные печи литейных цехов. Ч. 1. Вагранка / Е.А. Чернышов. – Нижний Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т, 2011. – 196 с.
3. Селянин И.Ф. Ваграночный процесс с оптимальным распределением дутья по высоте зоны горения / И.Ф. Селянин, Г.Л. Маркс; Сиб. гос. горно-метал. акад. – Новокузнецк: СибГГМА, 1996. – 218 с.

УДК 004.94

В. П. Цымбал, П. А. Сеченов, А. А. Оленников

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ СЕПАРАЦИИ МЕТОДОМ СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ (SPH)

Аннотация

В статье рассматриваются особенности решения задачи численного моделирования гравитационной сепарации дисперсных частиц. Создана имитационная модель с использованием метода Монте-Карло, в которой в качестве первых принципов (элементарных частиц) выступают частицы шихты и продукты реакции. В качестве языка программирования был выбран объектно-ориентированный язык ActionScript 3.0. При этом самой сложной (вычислительной) задачей является поиск соседей (сложности N^2). В данной статье приведён ана-