УДК 669.162.263
DOI 10.17073/0368-0797-2024-2-245-253

CC BY

Оригинальная статья
Original article

Информационно-моделирующая система движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи

Н. А. Спирин, **И. А. Гурин**, **В. В. Лавров**, **Л. А. Зайнуллин**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 28)

n.a.spirin@urfu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты разработки информационно-моделирующей системы движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи. В основу работы положены математические модели, отражающие современные представления о протекании физико-химических явлений доменной плавки и технологические особенности ведения доменного процесса. Применение системы позволяет определить и визуализировать конфигурацию слоев железорудных материалов и кокса по высоте рабочего пространства с учетом заданной рудной нагрузки в равновеликих кольцевых зонах доменной печи. В построении конфигурации слоев шихты при подходе материалов в распар печи учтены особенности их движения. Это обусловлено влиянием фурменных очагов, процессов первичного шлакообразования, изменения толщины слоя кокса, вызванного развитием процесса прямого восстановления. Расчет процесса накопления расплава в горне доменной печи предусматривает определение объема шлака, оставшегося в горне печи после закрытия летки предыдущего выпуска, расчет динамики заполнения горна печи расплавами чугуна и шлака, определение объемного выхода расплавов чугуна и шлака за межвыпускной период и расчет продолжительности выпуска из печи. Разработанная информационно-моделирующая система позволяет по реально доступной информации о работающей печи оценивать динамику изменения конфигурации слоев по высоте рабочего пространства, а также процесс накопления расплава в горне доменной печи. Описана архитектура программного обеспечения, представлена характеристика модулей и проиллюстрирована его работа. Разработанная система может быть использована технологическим персоналом доменного производства для изучения процессов, протекающих в доменных печах, совершенствования технологических режимов функционирования, прогнозирования хода плавки в режиме реального времени в условиях нестабильности их работы.

Ключевые слова: доменная печь, моделирование доменного процесса, движение шихтовых материалов в печи, накопление расплава чугуна и шлака в горне, программное обеспечение, архитектура программного обеспечения, функциональное моделирование

Для цитирования: Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В., Зайнуллин Л.А. Информационно-моделирующая система движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2024;67(2):245–253. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-2-245-253

Information modeling system for movement of charge layers and melt accumulation in a blast furnace well

N. A. Spirin, **I. A. Gurin**, **V. V. Lavrov**, **L. A. Zainullin**

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (28 Mira Str., Yekaterinburg 620002, Russian Federation)

n.a.spirin@urfu.ru

Abstract. The article presents the results of development of an information modeling system for movement of charge layers and melt accumulation in a blast furnace well. The work is based on mathematical models reflecting modern ideas on the course of physico-chemical phenomena of blast furnace melting and technological features of the blast furnace process. The use of such system makes it possible to determine and visualize the configuration of layers of iron ore materials and coke according to the working space height, taking into account a given ore load in equal-sized annular zones of the blast furnace. In constructing the configuration of the charge layers, when materials are approaching the furnace belly, the peculiarities of their movement are taken into account. This is due to the influence of tuyere zone, primary slag formation processes, and changes in thickness of the coke

© Н. А. Спирин, И. А. Гурин, В. В. Лавров, Л. А. Зайнуллин, 2024

layer caused by development of the direct reduction process. Calculation of the melt accumulation process in the blast furnace well provides determining the volume of slag remaining there after the notch closure of previous tapping, calculating the dynamics of filling the furnace well with melts of cast iron and slag, determining the volume output of melts of cast iron and slag for the inter-tapping period and calculating the duration of tapping. The developed information modeling system makes it possible to evaluate the dynamics of changes in configuration of layers in the working space height, as well as the process of melt accumulation in the blast furnace well, using really accessible information about a working furnace. The software architecture is described, the characteristics of the modules are presented and its operation is illustrated. The developed system can be used by technological staff of a blast furnace shop to study the processes occurring in blast furnaces, improve the technological modes of operation, predict the melting progress in real time in conditions of operation instability.

Keywords: blast furnace, modeling of blast furnace process, movement of charge materials in a furnace, accumulation of molten iron and slag in a furnace, software, software architecture, functional modeling

For citation: Spirin N.A., Gurin I.A., Lavrov V.V., Zainullin L.A. Information modeling system for movement of charge layers and melt accumulation in a blast furnace well. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2024;67(2):245–253. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-2-245-253

Введение

Рациональное распределение шихтовых материалов в доменной печи [1 – 3], в полной мере соответствующее параметрам теплового, дутьевого и шлакового режимов и текущему состоянию доменной плавки в целом [4 – 6], – задача, которая остается актуальной как для технологов на производстве, так и для исследователей доменного процесса [7 – 9].

Процессы, происходящие в горне доменной печи, оказывают большое влияние на показатели работы доменных печей [10 – 12], что заставляет инженерно-технологический персонал уделять им повышенное внимание [13; 14]. Особенно трудной задачей является организация хорошей работы горна, а именно, динамики заполнения металлоприемника печи чугуном и шлаком [15 – 19]. Для изучения процессов движения слоев шихты по высоте рабочего пространства доменной печи и накопления расплава в горне разработана информационно-моделирующая система, в основу которой положены математические модели, отражающие современные представления о протекании физико-химических явлений доменной плавки и технологические особенности ведения доменного процесса [19; 20].

Функциональное моделирование информационно-моделирующей системы

При проектировании информационной системы использована методология функционального моделирования и графическая нотация метода структурного анализа и проектирования IDEF0 [21; 22]. Методология IDEF0 рекомендована Госстандартом России для построения и практического применения функциональных моделей организационно-экономических и производственно-технических систем. Преимуществом использования методологии IDEF0 является возможность наглядного обмена информацией между специалистами в области информационных технологий и инженерно-технологическим персоналом с точки зрения функционирования разрабатываемого программного обеспечения.

С использованием возможностей этой методологии разработана функциональная модель информационно-моделирующей системы движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи. Модель разработана с помощью программного обеспечения Ramus [22], содержит более 30 блоков на трех уровнях декомпозиции, определяет основные функции и взаимосвязи между отдельными функциональными блоками системы, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции.

На рис. 1 приведена декомпозиция первого уровня функциональной модели. Первый уровень декомпозиции контекстной диаграммы включает четыре блока: выбор требуемой задачи, расчет динамики изменения конфигурации слоев шихты, расчет уровня расплава в горне доменной печи, анализ результатов и их сохранение.

Архитектура информационно-моделирующей системы

Архитектура разработанной информационно-моделирующей системы движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи представлена на рис. 2. Информационно-моделирующая система разбита на небольшие независимые блоки – модули, которые реализуют функционально законченные фрагменты программы. Рассматриваемый подход обусловлен возможностью обновления функционала программных модулей без необходимости внесения изменений во всю систему, что делает ее более надежной и масштабируемой. Роль модулей выполняют математические библиотеки и классы [23].

Информационно-моделирующая система состоит из следующих модулей:

– модуль расчета динамики изменения конфигурации слоев доменной шихты (обеспечивает расчет конфигурации слоев шихты по высоте профиля доменной печи с использованием математической модели);

– модуль расчета накопления расплава в горне доменной печи (обеспечивает расчет высоты шлака и чугуна перед очередным выпуском по заданной математической модели);

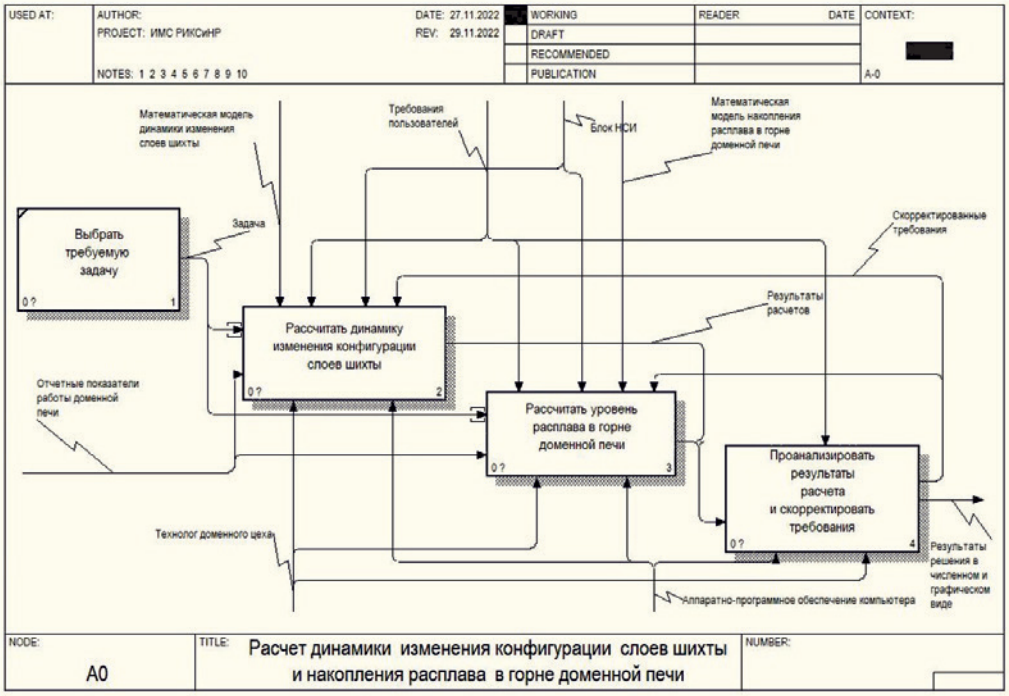

Рис. 1. Декомпозиция первого уровня функциональной модели

Fig. 1. Decomposition of the first level of the functional model

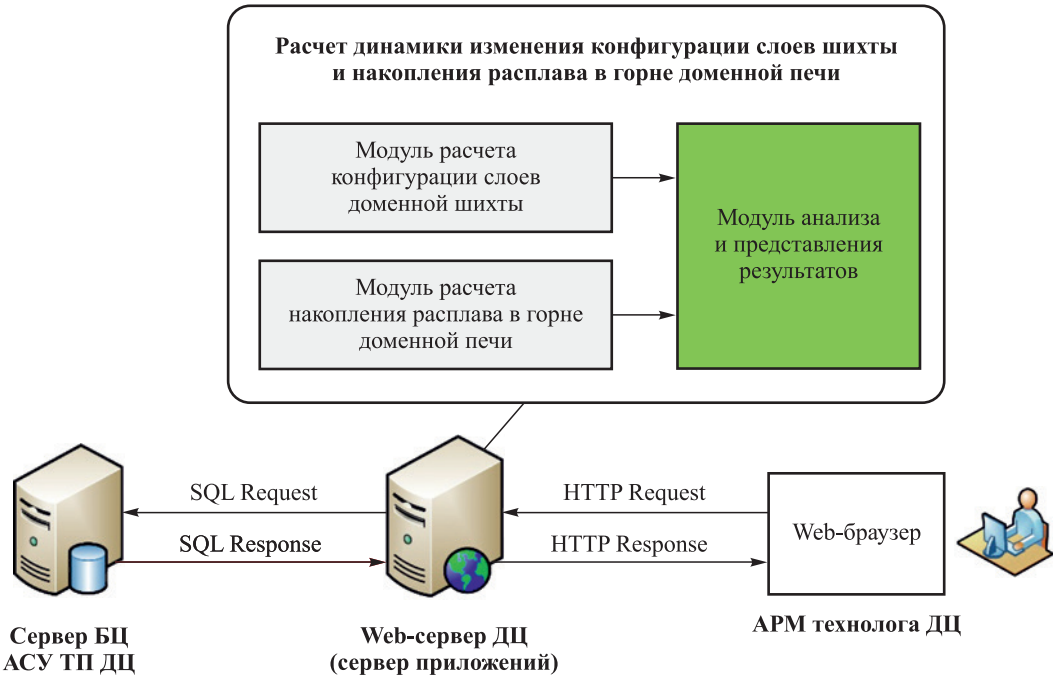

Рис. 2. Архитектура информационно-моделирующей системы движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи

Fig. 2. Architecture of the information modeling system for movement of charge layers and melt accumulation in the blast furnace well

– модуль анализа и представления результатов (выполняется анализ полученных результатов из расчетных модулей; результаты отображаются в численном и графическом видах, имеется возможность формирования и экспорта отчета в файл формата Microsoft Excel).

Программная реализация информационно-моделирующей системы

Программная реализация информационной системы выполнена с использованием клиент-серверного подхода с учетом возможностей интеграции с суще-

ствующими программными продуктами, используемыми на предприятии, и обмена данными с использованием программного интерфейса API (*Application Programming Interface*). Клиент-серверная архитектура представляет собой классическую трехзвенную архитектуру, состоящую из уровней представления, приложения и данных.

Уровень представления реализован с помощью высокоуровневых языков программирования C#, JavaScript, языка гипертекстовой разметки HTML5 и каскадных таблиц стилей CSS (*Cascading Style Sheets*). Визуальное оформление выполнено с использованием фреймворка Bootstrap. Манипуляция объектами DOM (*Document Object Model*) осуществляется библиотекой jQuery, построение графиков – библиотекой Chart.js. Этот уровень поддерживается с помощью вычислительных ресурсов пользователей (веб-браузеров).

Уровень приложения реализован на языке программирования C# на базе фреймворка ASP.NET Core MVC с использованием программной платформы .NET 6 [24]. Фреймворк ASP.NET Core выполняет конвейерную обработку запросов пользователей, части конвейера (Middleware). Информационная система включает в себя *Middleware обработки ошибок*, *Middleware аутентификации*, *Middleware MVC* и *Session Middleware*.

Middleware обработки ошибок позволяет системе сигнализировать о проблемах с программным обеспечением при возникновении исключительных ситуаций, а также продолжать свою работу и корректно отображать веб-страницы при ошибках подключения к базе данных, при выполнении алгоритмов расчета и т.д.

Middleware аутентификации служит для внедрения в разрабатываемую информационную систему стандартного механизма аутентификации и авторизации ASP.NET Identity, а также управления учетными записями.

Middleware MVC встраивает системы маршрутизации, внедрения зависимостей, а также привязку моделей и валидацию данных.

Session Middleware обрабатывает временные данные пользователей, с которыми они работают во время использования системы.

Уровень данных состоит из базы данных и программы для управления доступом для чтения и записи в базе данных. В качестве базы данных для разработанной системы используется СУБД Microsoft SQL Server. Связь системы с базой данных осуществляется с помощью технологии Entity Framework Core, которая в свою очередь использует программирование Object-Relational Mapping (ORM), применяемое в объектно-ориентированных языках программирования для создания виртуальных схем баз данных. Она позволяет манипулировать данными на уровне объектов или классов.

Структура информационно-моделирующей системы

Структура информационно-моделирующей системы движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи включает следующие основные блоки:

1. Задание условий работы доменных печей. На этом этапе выполняется:

– задание размеров профиля доменной печи, а также производительности доменной печи и количества выпусков в сутки;

– задание характеристик комбинированного дутья (расход дутья, содержание кислорода в дутье, влажность, расход природного газа);

– задание физических свойств отдельных компонентов шихты, удельного расхода железорудного материала и кокса;

– задание рудной нагрузки по кольцевым зонам доменной печи;

– установка требуемых показателей по выплавке чугуна (содержание железа, марганца, кремния и углерода) и коксу (содержание золы, серы и летучих).

2. Выполнение расчетов изменения конфигурации слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи с использованием математических моделей. Моделирование осуществляется в следующей последовательности [19; 20]:

2.1 – расчет параметров равновеликих кольцевых зон (диаметра и радиуса) на колошнике печи, расчет расстояния от стен колошника до середины каждого кольцевого сечения;

2.2 – определение распределения рудной нагрузки в кольцевых зонах колошника; для этого используются данные результатов расчета моделей загрузки, при отсутствии такой возможности задача решается по косвенным показателям – по распределению CO_2 или температуры в поперечном сечении колошника; при этом приняты допущения, что распределение рудной нагрузки пропорционально содержанию CO_2 и обратно пропорционально распределению температур;

2.3 – определение конфигурации слоев железорудных материалов и кокса в кольцевых сечениях колошника доменной печи, рассчитанной по заданной рудной нагрузке; с этой целью для каждого кольцевого сечения проводится расчет масс и объемов железорудных материалов (ЖРМ) и кокса; по объему кокса и железорудных материалов, а также площади кольцевого сечения определяется высота слоев шихтовых материалов в кольцевых зонах колошника;

2.4 – определение конфигурации слоев ЖРМ и кокса на всех уровнях горизонта шахты и распара печи.

При моделировании движения материалов в доменной печи учтены следующие особенности.

Уровень засыпи имеет форму воронки к центру печи. В связи с этим вид формируемых слоев ЖРМ и кокса будет зависеть от угла наклона поверхности засыпи, кото-

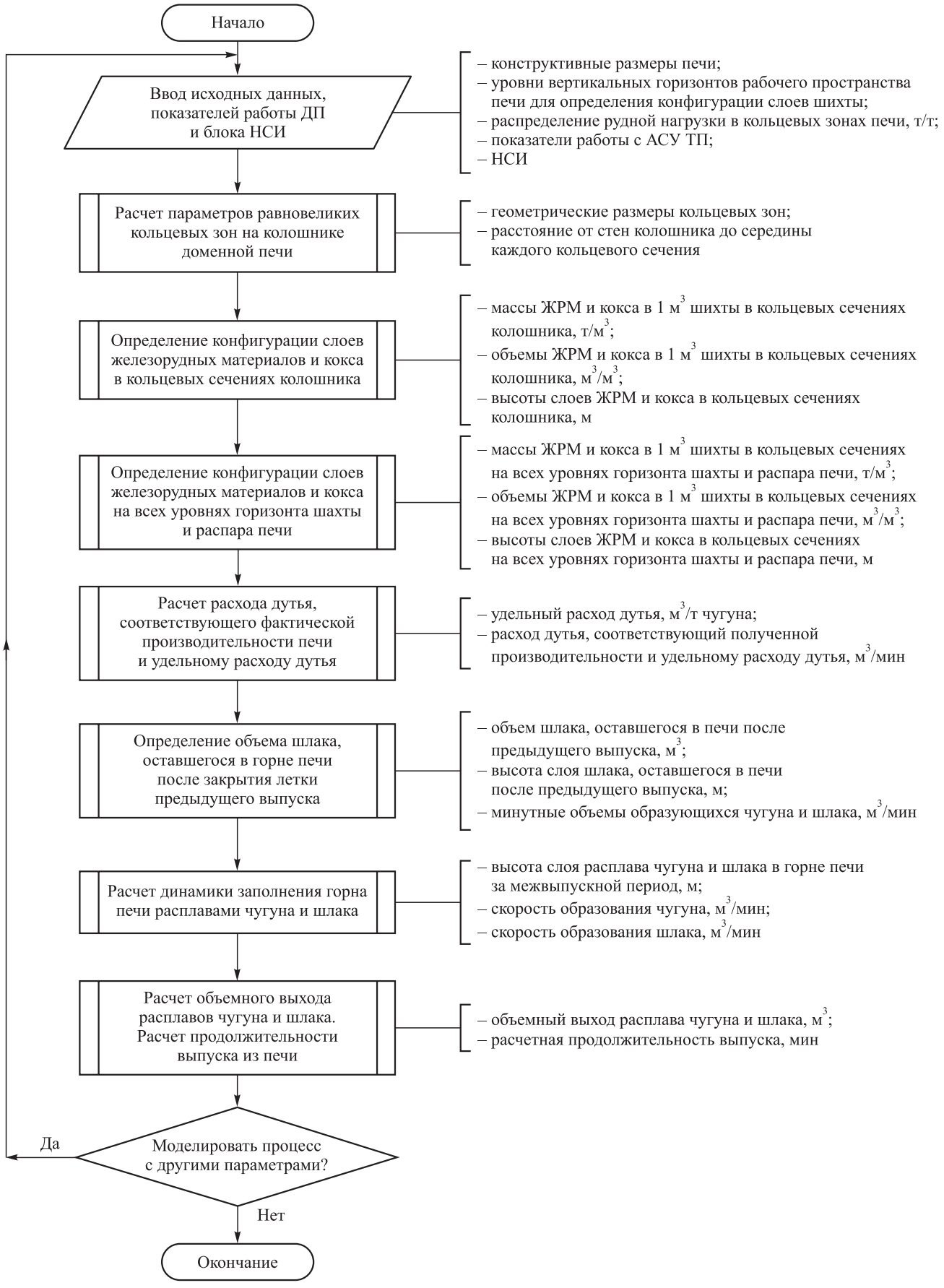

Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета конфигурации слоев ЖРМ и кокса, накопления расплава в горне доменной печи

Fig. 3. Block diagram of the algorithm for calculating the configuration of layers of iron ore and coke, melt accumulation in the blast furnace well

рый является переменной величиной и включен в блок нормативно-справочной информации (НСИ) модели.

В построении конфигурации слоев шихты при подходе материалов в распар печи учтены особенности их движения, обусловленные влиянием фурменного очага, а также процессы первичного шлакообразования, начинающиеся в районе низа распара и заплечиков.

При построении вида и размеров слоев шихты в районе распара учтено изменение толщины слоя кокса, вызванного развитием процесса прямого восстановления железа, примесей чугуна (кремния, марганца и т.д.), затрат углерода на науглероживание чугуна. При расчете скорости опускания шихты за счет процесса размягчения ЖРМ в распаре учтено, что усадка материала в зоне первичного шлакообразования происходит примерно на 20 %, то есть численно равна объему межкусковых пространств слоя ЖРМ (порозности слоя).

Наличие над фурменными очагами зоны разрыхления, имеющей форму эллипсоида вращения [20]. Вершина этой зоны располагается в нижней части шахты и в верхней части распара. В вершине этой зоны начинается ускоренное движение частиц шихты.

а *б*

в *г*

Рис. 4. Фрагмент веб-страницы с результатами моделирования конфигурации слоев шихты на колошнике доменной печи (*а*), на первом горизонте шахты (на расстоянии 3,79 м от уровня нижнего обреза колошника) (*б*), на втором горизонте шахты (на расстоянии 7,59 м от уровня нижнего обреза колошника) (*в*), на уровне распара доменной печи (*г*)

Fig. 4. Fragment of a web page with the results of modeling the configuration of charge layers on blast furnace mouth (*a*), on the first horizon of the furnace shaft (at a distance of 3.79 m from the level of furnace mouth lower edge) (*б*), on the second horizon of the furnace shaft (at a distance of 7.59 m from the level of the lower edge (*в*), at the level of the blast furnace belly (*г*)

2.5 – расчет расхода дутья, соответствующего производительности печи и удельному расходу дутья. Заметим, что имеется различие между расчетным и фактическим расходами дутья, что объясняется разными причинами: неизбежными потерями дутья по воздухоподводящему тракту, неточностями фиксирования расхода дутья и др.

2.6 – расчет объема шлака, оставшегося в горне печи после закрытия летки предыдущего выпуска;

2.7 – расчет динамики заполнения горна печи расплавами чугуна и шлака. Расчеты выполняются с интервалом 10 мин. За истекшие 10 мин вводятся корректировки на изменение фактических параметров доменной плавки, вызывающих изменение производства чугуна в единицу времени (расхода дутья, расхода природного газа, концентрации кислорода в дутье). Затем происходит поэтапное определение толщины слоев чугуна и шлака каждые 10 мин в нарастающем виде с корректировкой общей высоты расплавов с объемом шлака, оставшегося в горне печи от предыдущего выпуска.

3. Анализ полученных результатов:

– отображение динамики изменения слоев железорудных материалов (ЖРМ) и кокса по мере движения к фурменным очагам доменной печи;

– отображение динамики заполнения металлоприемника печи чугуном и шлаком.

Ввод исходных данных осуществляется авторизованным пользователем на соответствующих веб-страницах. После этого данные с форм отправляются на веб-сервер, где происходит валидация, то есть проверка корректности введенных значений, и в случае успешной валидации проводится расчет по заданным алгоритмам расчета.

Алгоритм работы пользователя с системой

Алгоритм моделирования динамики изменения конфигурации слоев шихты и наполнения горна доменной печи по мере движения шихты к фурменным очагам доменной печи представлен на рис. 3 и включает следующие основные блоки:

1. Ввод параметров и блок НСИ (рудная нагрузка по кольцевым зонам, расход дутья, содержание кислорода в дутье, влажность, расход природного газа и др.).

2. Расчет параметров равновеликих кольцевых зон (диаметр и радиус кольцевых зон, масса и объем кокса и железорудного материала в кольцевых зонах).

3. Расчет конфигурации слоев ЖРМ и кокса с учетом наклона уровня шихты на колошнике, изменение диаметра по высоте печи, процессов развития прямого восстановления, первичного шлакообразования, наличия над фурменными очагами зоны разрыхления.

4. Расчет объемного минутного выхода шлака и чугуна.

5. Расчет высоты слоя шлака и чугуна.

Фрагменты результатов моделирования изменения конфигурации слоев ЖРМ и кокса на отдельных горизонтах доменной печи представлены на рис. 4.

Фрагмент веб-страницы с результатами моделирования накопления расплава в горне доменной печи представлен на рис. 5. Представлены результаты моделирования цикла «наполнение – выпуск» жидких

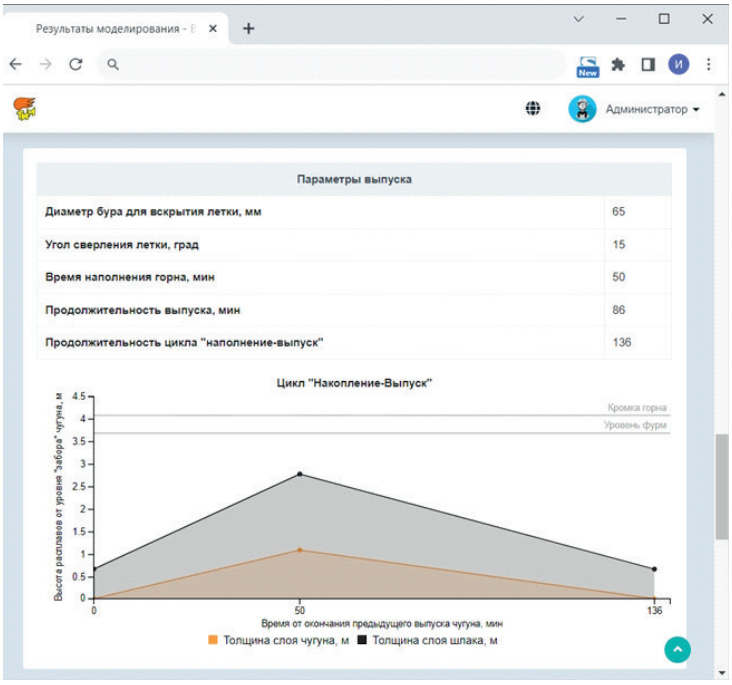

Рис. 5. Фрагмент веб-страницы с результатами моделирования цикла «наполнение – выпуск» жидких продуктов плавки в доменной печи

Fig. 5. Fragment of a web page with the results of modeling the cycle “filling – tapping” of liquid melting products in the blast furnace

продуктов плавки в доменной печи. Начало выпуска осуществляется через 50 мин после окончания предыдущего выпуска.

Выводы

С использованием современных информационных технологий разработана информационно-моделирующая система движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи. В системе предусмотрены расчеты динамики изменения конфигурации слоев ЖРМ и кокса по высоте рабочего пространства доменной печи, а также динамики заполнения металлоприемника доменной печи жидкими продуктами плавки.

Разработанная информационно-моделирующая система может быть использована технологическим персоналом для изучения процессов, протекающих в доменных печах, совершенствования технологических режимов функционирования, прогнозирования хода доменной плавки в режиме реального времени.

Список литературы / References

1. Сибагатуллин С.К., Махмутов Р.Ф., Сибагатуллина М.И., Стародубов В.А., Буранова Э.Ф. Об оптимальности распределения материалов в колошниковом пространстве доменной печи. *Теория и технология металлургического производства*. 2014;(2(15)):31–34.

   Sibagatullin S.K., Makhmutov R.F., Sibagatullina M.I., Starodubov V.A., Buranova E.F. On the optimal distribution of materials in the blast furnace space of the blast furnace. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2014;(2(15)):31–34. (In Russ.).
2. Сибагатуллин С.К. Формирование слоя шихты в колошниковом пространстве печи. Магнитогорск: МГТУ; 2014:188.
3. Товаровский И.Г. Прогнозная оценка влияния распределения шихтовых материалов по радиусу колошника на процессы и показатели доменной плавки. *Металлург*. 2014;(8):46–52.

   Tovarovskii I.G. Predictive assessment of the influence of charge materials distribution along the radius of furnace mouth on processes and indicators of blast furnace smelting. *Metallurg*. 2014;(8):46–52. (In Russ.).
4. Bolshakov V.I., Semenov Yu.S., Ivancha N.G., Vishnyakov V.I., Shumelchik E.I., Podkorytov A.L., Semion I.Yu., Kuznetsov A.M., Zubenko A.V. Study of the flow of burden materials and their distribution on the furnace top of a modern blast furnace. *Metallurgical and Mining Industry*. 2012;4(3):158–165.
5. Большаков В.И., Товаровский И.Г., Гладков Н.А., Шутылев Ф.М. Распределение материалов по радиусу колошника и развитие процессов тепломассообмена и фазовых превращений в объеме доменной печи. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2008;(3):22–34.

   Bol'shakov V.I., Tovarovskii I.G., Gladkov N.A., Shutylev F.M. Distribution of materials along the radius of furnace mouth and development of heat and mass transfer processes and phase transformations in the volume of a blast furnace. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2008;(3):22–34. (In Russ.).
6. Тарасов П.В. Распределение материалов и газов по окружности доменной печи. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2007;50(5):17–22.

   Tarasov P.V. Distribution of materials and gases around the circumference of a blast furnace. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2007;50(5):17–22. (In Russ.).
7. Fojtik D., Tuma J., Faruzel P. Computer modelling of burden distribution in the blast furnace equipped by a bell-less top charging system. *Ironmaking & Steelmaking*. 2021;48(10):1226–1238. https://doi.org/10.1080/03019233.2021.1952829
8. Teng Z.–J., Cheng S.–S., Du P.–Y., Guo X.–B. Mathematical model of burden distribution for the bell-less top of a blast furnace. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 2013;20(7):620–626. https://doi.org/10.1007/s12613-013-0775-7
9. Di Z., Huang M., Zhou X., Liu J., Sun J., Wang P., Wang H. The influence of central coke charging mode on the burden surface shape and distribution of a blast furnace. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 2022;21(2):169–179. https://doi.org/10.1515/ijcre-2022-0066
10. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. Киев: Наукова думка; 2007:411.
11. Товаровский И.Г. Доменная плавка. Днепропетровск: Пороги; 2009:768.
12. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса. Магнитогорск: МГТУ; 2009:257.
13. Cameron I., Sukhram M., Lefebvre K., Davenport W. Blast Furnace Ironmaking: Analysis, Control and Optimization. 1st ed. Elsevier Science; 2019:828. https://doi.org/10.1016/C2017-0-00007-1
14. Большаков В.И., Муравьева И.Г., Семенов Ю.С. Прогнозирование теплового состояния горна доменной печи. *Сталь*. 2009;(5):7–9.

   Bol'shakov V.I., Murav'eva I.G., Semenov Yu.S. Forecasting the thermal condition of a blast furnace well. *Stal'*. 2009;(5):7–9. (In Russ.).
15. Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Гилева Л.Ю., Краснобаев А.В., Швыдкий В.С., Онорин О.П., Щипанов К.А., Бурыкин А.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП. Екатеринбург: УрФУ; 2014:558.
16. Спирин Н.А., Лавров В.В., Бурыкин А.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В., Косаченко И.Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки. Екатеринбург: УрФУ; 2011:462.
17. Онорин О.П., Спирин Н.А., Терентьев В.Л., Гилева Л.Ю., Рыболовлев В.Ю., Косаченко И.Е., Лавров В.В., Терентьев А.В. Компьютерные методы моделирования доменного процесса. Екатеринбург: УГТУ–УПИ; 2005:301.
18. Gordon Y., Izumskiy N., Matveienko G., Chaika O., Lebid V., Vyshinskya O. Diagnostics, optimization and mathematical models of coke-sinter-hot metal production process. *AISTech 2019 – Proceedings of the Iron & Steel Technology Conf. 2019*;2019-May:479–484. https://doi.org/10.33313/377/050
19. Павлов А.В., Онорин О.П., Спирин Н.А., Лавров В.В., Гурин И.А. Некоторые вопросы технологии, управления и диагностики доменной плавки. Екатеринбург: АМК «День РА»; 2023:282.

20. Онорин О.П., Спирин Н.А., Лавров В.В., Гурин И.А., Федотов Г.А. Математическая модель движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи. *Сталь*. 2023;(4):2–6.
Onorin O.P., Spirin N.A., Lavrov V.V., Gurin I.A., Fedotov G.A. Mathematical model of the burden layers' movement and melt accumulation in the blast furnace hearth. *Stal'*. 2023;(4):2–6. (In Russ.).

21. Салий В.В., Фролов Р.Н., Цебренко К.Н. Построение экономической информационно-аналитической системы для оптимизации управления деятельностью организации. *Информационные ресурсы России*. 2021;(3(181)):37–40. https://doi.org/10.46920/0204-3653_2021_03181_37
Saliy V.V., Frolov R.N., Tsebrenko K.N. Construction of economic information-analytical system for optimization of management organization. *Informatsionnye resursy Rossii*. 2021;(3(181)):37–40. (In Russ.). https://doi.org/10.46920/0204-3653_2021_03181_37

22. Попов А.И. Свободные инструменты проектирования информационных систем. Москва: ИПК «Издательство стандартов»; 2014;78.

23. Гурин И.А., Лавров В.В., Спирин Н.А., Никитин А.Г. Веб-технологии построения автоматизированных информационно-моделирующих систем технологических процессов в металлургии. *Известия вузов. Черная Металлургия*. 2017;60(7):573–579. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-7-573-579
Gurin I.A., Lavrov V.V., Spirin N.A., Nikitin A.G. Web-technologies for construction of automated information-modeling systems of technological processes in metallurgy. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2017;60(7):573–579. (In Russ.). https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-7-573-579

24. Фримен А. ASP.NET Core MVC 2 с примерами на C# для профессионалов. 7-е изд. Санкт-Петербург: ООО «Диалектика»; 2019:1008.

Сведения об авторах / Information about the Authors

Николай Александрович Спирин, *д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплофизики и информатики в металлургии,* Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
ORCID: 0000-0001-6582-3428
E-mail: n.a.spirin@urfu.ru

Иван Александрович Гурин, *к.т.н., доцент кафедры теплофизики и информатики в металлургии,* Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
ORCID: 0000-0002-4989-7029
E-mail: ivan.gurin@urfu.ru

Владислав Васильевич Лавров, *д.т.н., профессор кафедры теплофизики и информатики в металлургии,* Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
ORCID: 0000-0002-6953-5519
E-mail: v.v.lavrov@urfu.ru

Лик Анварович Зайнуллин, *д.т.н., профессор кафедры теплофизики и информатики в металлургии,* Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
ORCID: 0009-0000-9439-5792
E-mail: aup@vniimt.ru

Nikolai A. Spirin, *Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Chair "Thermal Physics and Informatics in Metallurgy",* Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
ORCID: 0000-0001-6582-3428
E-mail: n.a.spirin@urfu.ru

Ivan A. Gurin, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Thermal Physics and Informatics in Metallurgy",* Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
ORCID: 0000-0002-4989-7029
E-mail: ivan.gurin@urfu.ru

Vladislav V. Lavrov, *Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair "Thermal Physics and Informatics in Metallurgy",* Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
ORCID: 0000-0002-6953-5519
E-mail: v.v.lavrov@urfu.ru

Lik A. Zainullin, *Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair "Thermal Physics and Informatics in Metallurgy",* Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
ORCID: 0009-0000-9439-5792
E-mail: aup@vniimt.ru

Вклад авторов / Contribution of the Authors

Н. А. Спирин – создание идеи статьи, обоснование актуальности темы, подготовка концепции, развернутого плана и чернового варианта статьи; подбор библиографических ссылок, окончательная правка, подготовка заключения.
И. А. Гурин – проработка содержания разделов, связанных с разработкой и программной реализацией современных информационных систем в металлургии; подготовка аннотации и ключевых слов, перевод на английский язык материалов статьи.
В. В. Лавров – проработка содержания основных разделов, подбор библиографических ссылок, оформление статьи.
Л. А. Зайнуллин – проработка содержания основных разделов, подготовка примеров практической реализации современных информационных систем в промышленности.

N. A. Spirin – formation of the article idea, substantiation of the topic relevance, formation of the concept, writing detailed plan and draft version of the article, selection of bibliographic references, final editing, preparation of the conclusions.
I. A. Gurin – elaboration of content of sections related to the development and software implementation of modern information systems in metallurgy, writing the abstract and keywords, translation into English.
V. V. Lavrov – elaboration of content of the main sections, selection of bibliographic references, design of the article.
L. A. Zainullin – elaboration of the content of the main sections, preparation of examples of practical implementation of modern information systems in industry.

Поступила в редакцию 20.12.2023
После доработки 09.01.2024
Принята к публикации 16.01.2024

Received 20.12.2023
Revised 09.01.2024
Accepted 16.01.2024