

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND
AUTOMATIC CONTROL IN FERROUS METALLURGY



УДК 669.162.263

DOI 10.17073/0368-0797-2025-4-402-410



Оригинальная статья

Original article

ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Н. А. Спирин[✉], И. А. Гурин, В. В. Лавров

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

[✉ n.a.spirin@urfu.ru](mailto:n.a.spirin@urfu.ru)

Аннотация. В статье рассматривается разработка информационно-моделирующей системы оценки неустойчивости функционирования доменной печи. Представленный подход базируется на применении математических моделей и методов анализа параметров доменного процесса, что позволяет оценивать влияние технологических и организационных факторов на стабильность работы печи. Разработанная система предназначена для автоматизированного сбора, обработки и анализа данных в реальном времени, а также прогнозирования технологических отклонений. В основе методики лежит использование интегральных показателей стабильности, включая технико-экономические характеристики плавки, свойства сырья, параметры дутьевого, газодинамического, теплового и шлакового режимов. Для расчета интегральных показателей применяется совокупность контролируемых и расчетных признаков, ранжированных по степени значимости. Основные модули системы включают функциональные блоки сбора данных, расчетов, анализа и визуализации. Архитектура системы реализована на основе клиент-серверного подхода, что обеспечивает возможность интеграции с существующими системами управления металлургическим производством. Практическая реализация системы позволяет улучшить показатели производительности доменной плавки, снизить колебания параметров технологического процесса и повысить качество получаемого чугуна. Приведенные примеры расчетов подтверждают эффективность разработанного инструмента. Представленные результаты могут быть полезны для специалистов в области автоматизации доменного производства, а также для исследователей, занимающихся анализом и прогнозированием неустойчивости технологических процессов.

Ключевые слова: доменная печь, моделирование, неустойчивость, информационная система, металлургия, математическая модель

Для цитирования: Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В. Информационно-моделирующая система оценки неустойчивости функционирования доменной печи. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2025;68(4):402–410. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-4-402-410>

INFORMATION MODELING SYSTEM FOR ASSESSING INSTABILITY OF BLAST FURNACE FUNCTIONING

N. A. Spirin[✉], I. A. Gurin, V. V. Lavrov

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](mailto:n.a.spirin@urfu.ru)

Abstract. The article discusses the development of an information modeling system for assessing the instability of a blast furnace. The presented approach is based on the application of mathematical models and methods for analyzing the parameters of the blast furnace process, which makes it possible to assess the impact of technological and organizational factors on the furnace stability. The developed system is designed for automated collection, processing and analysis of data in real time, as well as forecasting technological deviations. The methodology is based on the use of integral stability indicators, including the technical and economic characteristics of smelting, the properties of raw materials, the parameters of blast, gas dynamic, thermal and slag modes. To determine the integral indicators, a set of controlled and calculated features is used, ranked according to the degree of significance. The main modules of the system include functional blocks for data collection, calculations, analysis and visualization. The system architecture is implemented on the basis of a client-server approach, which provides the possibility of integration with existing metallurgical production management systems. The practical implementation of the system makes it possible to improve the performance of blast furnace smelting, reduce fluctuations in the parameters of the technological process and improve the quality of the resulting cast iron. The above

calculation examples confirm effectiveness of the developed tool. The presented results may be useful for the specialists in the field of blast furnace production automation, as well as for the researchers involved in analysis and forecasting of instability of technological processes.

Keywords: blast furnace, modeling, instability, information system, metallurgy, mathematical model

For citation: Spirin N.A., Gurin I.A., Lavrov V.V. Information modeling system for assessing instability of blast furnace functioning. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2025;68(4):402–410. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-4-402-410>

ВВЕДЕНИЕ

Целью создания информационных систем и систем управления доменными печами является разработка эффективной системы управления, которая обеспечивает стабильную работу производства при минимальных затратах, учитывает требования технологии и особенности оборудования. Для развития автоматизированной системы анализа параметров работы отдельных печей и доменного цеха разрабатывается информационно-моделирующая система оценки неустойчивости функционирования доменных печей [1].

Влияние колебаний состава шихты [2 – 4] и параметров плавки [5 – 7] на показатели работы доменной печи обусловлено тем, что вызванные колебания состава и температуры чугуна, а также потери напора газа в столбе шихты способствуют выходу отдельных величин за пределы ограничений, обусловленных требованиями к составу чугуна, а также необходимостью поддержания ровного хода печи при любых колебаниях параметров противотока [8; 9]. Группа факторов, непосредственно влияющих на тепловое состояние печи, температуру и состав чугуна: содержание железа в шихте, влажность и зольность кокса, температура и влажность дутья, расход природного газа, соотношение масс загружаемых железорудных материалов и кокса и их распределение на колошнике [10 – 12]. Колебания указанных параметров приводят к колебаниям теплового баланса печи и соответствующим отклонениям от средних значений содержания кремния в чугуне и его температуры. Появление неустойчивости процесса плавки при использовании железорудного сырья с изменяющимся химическим составом существенно снижает качество жидких продуктов доменной плавки. Так, согласно справочным данным [5] снижение колебаний основности агломерата (CaO/SiO_2) на $\pm(0,075 - 0,100)$ ед. сопровождается увеличением производительности доменной печи на 1,5 % и снижением удельного расхода кокса на 0,8 %.

Общая величина возможного эффекта от уменьшения колебаний параметров доменной плавки оценивается экономией кокса 5 – 6 % и приростом производительности 9 – 10 %. Снижение среднеквадратичного отклонения содержания железа в шихте на 0,1 % приводит к экономии кокса 0,28 % при увеличении производительности на 0,29 % [2]. К организационным факторам технологии относятся, в частности, остановки, тихий ход доменных печей, ритмичность загрузки

шихты и выпуска жидких продуктов плавки. Влияние ряда отдельных организационных факторов изучены недостаточно, и оценивать их влияние предложено на основе эмпирических данных [13 – 15]. К ним относятся: механические и физико-химические свойства сырья и кокса, газораспределение в печи и др. Для такой оценки требуется дальнейшее изучение и развитие математического описания процесса.

Однако существующие системы часто оказываются недостаточно точными или не могут в полной мере учитывать все факторы, влияющие на стабильность процесса. Это делает необходимым создание информационно-моделирующих систем, способных учитывать множество переменных и оперативно анализировать неустойчивость работы доменных печей.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Для оценки стабильности процесса разработаны следующие основные интегральные показатели (B_1):

1. Техничко-экономические и технологические показатели плавки (B_1).
2. Показатели свойств сырья (железорудных материалов, кокса, флюсов) (B_2).
3. Показатели дутьевого и газодинамического режимов (B_3).
4. Показатели теплового режима (B_4).
5. Показатели шлакового режима (B_5).
6. Интегральный показатель стабильности работы доменной печи по B_3, B_4, B_5 , характеризующий дутьевой, газодинамический, тепловой и шлаковый режимы ($B_{\text{дп}}$).
7. Итоговый показатель стабильности свойств сырья и работы доменной печи ($B_{\text{итог}}$).

При этом виды признаков и их количество определяются видом интегрального показателя.

Для оценки стабильности процесса, кроме контролируемых параметров, используется и комплекс расчетных параметров, характеризующих дутьевой, газодинамический, тепловой и шлаковый режимы, технологические параметры доменной плавки, представленные в работах [16 – 18].

Ориентировочное количество признаков для оценки каждого из интегральных показателей представлено в таблице.

За заданный интервал времени работы доменной печи для расчета каждого из интегральных показателей (B_1) в качестве исходных данных используются

Количество признаков, используемых для расчета показателей стабильности работы печи

Number of features used to calculate the stability indicators of the furnace operation

Обозначение	Наименование показателя	Количество признаков		
		Контролируемых	Расчетных	Всего
B_1	Технико-экономические и технологические показатели плавки	6	6	12
B_2	Свойства сырья (железородных материалов, кокса, флюсов)	16	0	16
Показатели стабильности работы печи				
B_3	Дутьевой и газодинамический режимы	9	10	19
B_4	Тепловой режим	4	7	11
B_5	Шлаковый режим	6	4	10
Итого признаков		41	27	68

среднеквадратичные отклонения контролируемых и расчетных признаков ΔX_i .

При стабильном режиме работы среднеквадратичное отклонение i -го признака ΔX_i , характеризующего стабильность работы печи в заданном периоде, не должно превышать допустимого значения $\Delta X_i^{\text{доп}}$, которое является настройкой модели:

$$\Delta X_i \leq \Delta X_i^{\text{доп}}. \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется («Истина»), то значению i -го идентификатора признака P_i присваивается значение «1», в противном случае («Ложь») – значение «0». При этом все признаки ранжируются. Каждому из них присваивается значение его ранга R_i , изменяющегося в диапазоне от «0» до «1», определяемого методом экспертного оценивания.

Вероятность стабильности работы доменной печи по каждому j из указанных интегральных показателей B_j рассчитывается по следующему соотношению:

$$B_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \right) \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где n – количество признаков каждого из интегральных показателей B_j .

Если вероятность B_j более 80 % (нормативно-справочная информация), то по данному интегральному показателю наблюдалась стабильность работы доменной печи.

Если вероятность B_j находится в диапазоне от 60 до 80 %, то присутствует нестабильность работы доменной печи по данному интегральному показателю.

Если вероятность B_j менее 60 %, то доменная печь работала нестабильно по данному интегральному показателю.

Для определения итоговых критериев, характеризующих стабильность условий и работу доменной печи, рассчитываются следующие интегральные показатели:

– интегральный показатель стабильности работы доменной печи $B_{\text{ДП}}$ (по показателям B_3, B_4, B_5), характеризующий дутьевой, газодинамический, тепловой, шлаковый режимы:

$$B_{\text{ДП}} = \left(\frac{\sum_{i=3}^5 B_i \frac{R_i}{\sum_{i=3}^5 R_i} \right) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

– итоговый показатель стабильности работы печи:

$$B_{\text{итог}} = \frac{B_1 R_1 + B_2 R_2 + B_{\text{ДП}} R_{\text{ДП}}}{R_1 + R_2 + R_{\text{ДП}}}.$$

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

Основные требования к системе:

- автоматизация сбора данных: система должна собирать данные о параметрах работы доменной печи в режиме реального времени;
- оперативная визуализация: система должна предоставлять результаты анализа в виде графиков, таблиц и диаграмм, понятных технологическому персоналу;
- простота интеграции с другими системами: разработанная система должна быть легко интегрирована в существующие системы управления предприятия.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

При проектировании информационной системы использованы методология функционального моделирования и графическая нотация метода структурного анализа и проектирования IDEF0. В основе IDEF0 лежит методология структурного анализа и проектирования SADT (*Structural Analysis and Design Technique*) [19 – 21]. Модель, разработанная с использованием пакета Ramus Educational [21], содержит более 50 блоков на четырех уровнях декомпозиции, которые определяют основные функции и взаимосвязи

между отдельными функциональными блоками системы, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции.

АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Архитектура разработанной информационно-моделирующей системы оценки нестабильности функционирования доменной печи представлена на рис. 1. Информационно-моделирующая система разбита на небольшие независимые блоки – модули, которые реализуют функционально законченные фрагменты программы. Данный подход обусловлен возможностью обновления функционала программных модулей без необходимости во внесении изменений во всю систему, что делает ее более надежной и масштабируемой. Роль модулей выполняют математические библиотеки и классы [22].

Информационно-моделирующая система состоит из следующих модулей:

– модуль ввода допустимых значений среднеквадратичных отклонений параметров и их рангов $\Delta X_{i-1}^{\text{доп}}$, R_i ;

– модуль расчета среднеарифметических значений и среднеквадратичных отклонений параметров, характеризующих: технико-экономические и технологические показатели плавки, свойства сырья (железорудных материалов, кокса, флюсов), дутьевой и газодинамический режимы, тепловой режим, шлаковый режим;

– модуль расчета вероятностей стабильности работы доменной печи по каждому j из интегральных показателей B_j , интегрального показателя стабильности работы доменной печи $B_{\text{ДП}}$ и итогового показателя стабильности работы доменной печи $B_{\text{итог}}$;

– модуль анализа и представления результатов.

Анализ полученных результатов выполняется из расчетных модулей. Результаты отображаются в численном и графическом виде, 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» под-

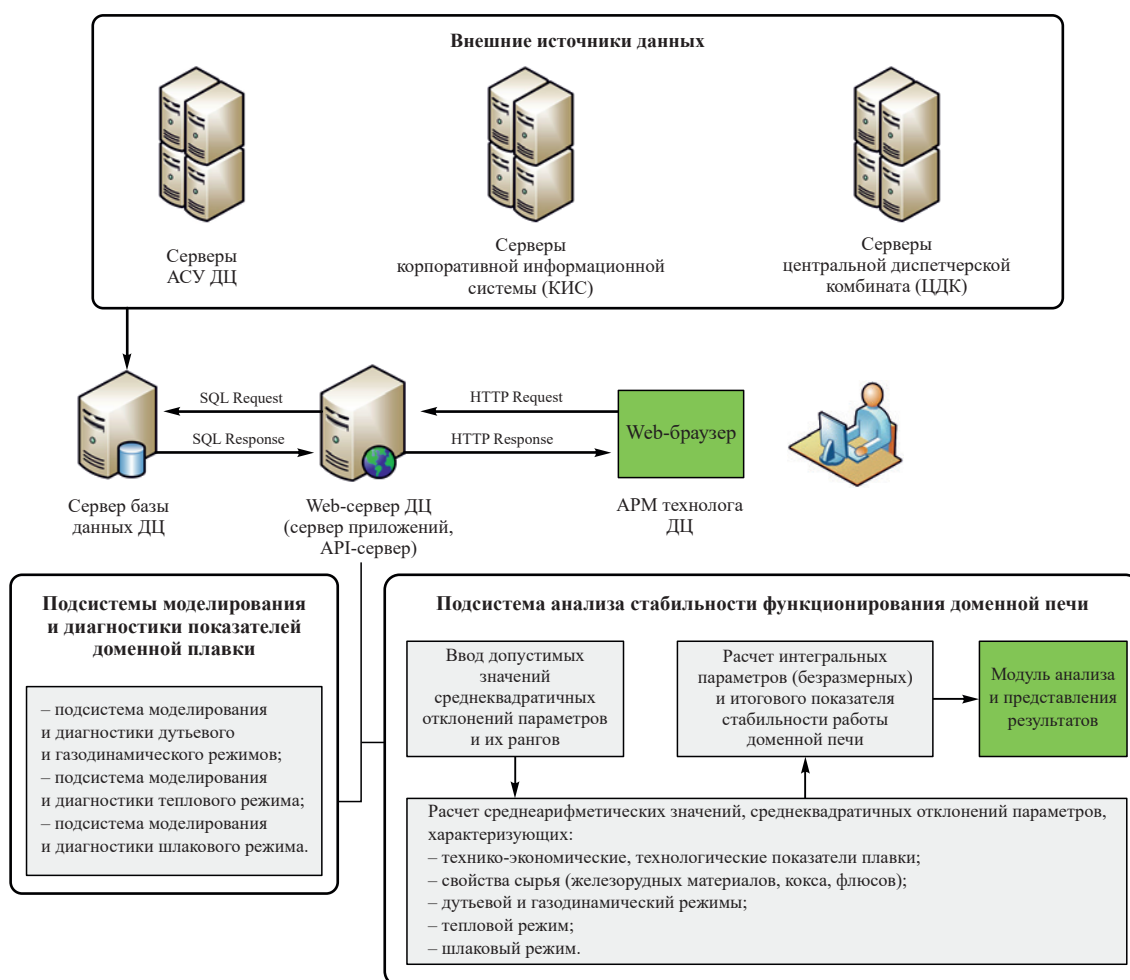


Рис. 1. Архитектура информационно-моделирующей системы оценки нестабильности функционирования доменной печи

Fig. 1. Architecture of the information modeling system for assessing the instability of a blast furnace

хода с учетом возможностей интеграции с существующими программными продуктами, используемыми на предприятии, и обмена данными с использованием программного интерфейса API (*Application Programming Interface*) [23]. Клиент-серверная архитектура представляет собой классическую трехзвенную архитектуру, состоящую из уровня представления, уровня приложения и уровня данных.

Уровень представления реализован с помощью высокоуровневых языков программирования JavaScript, языка гипертекстовой разметки HTML5 и каскадных таблиц стилей CSS (*Cascading Style Sheets*). Визуальное оформление выполнено с использованием фреймворка Bootstrap. Разработка пользовательского интерфейса выполнена с использованием фреймворка UmiJS и библиотек React, построение графиков осуществляется библиотекой Ant Design Charts. Данный 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 8 [24]. ASP.NET Core выполняет конвейерную обработку запросов пользователей, части конвейера – это Middleware. Информационная система включает в себя Middleware обработки ошибок, Middleware аутентификации и авторизации, Session Middleware и Middleware Web API.

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, ошибках 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.

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

Middleware Web API встраивает систему маршрутизации, систему внедрения зависимостей, а также привязку моделей и валидацию данных.

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 PostgreSQL. Связь системы с базой данных осуществляется с помощью технологии Entity Framework Core, которая, в свою очередь, использует технологию программирования ORM (*Object-Relational Mapping*), применяемую в объектно-ориентированных языках программирования для

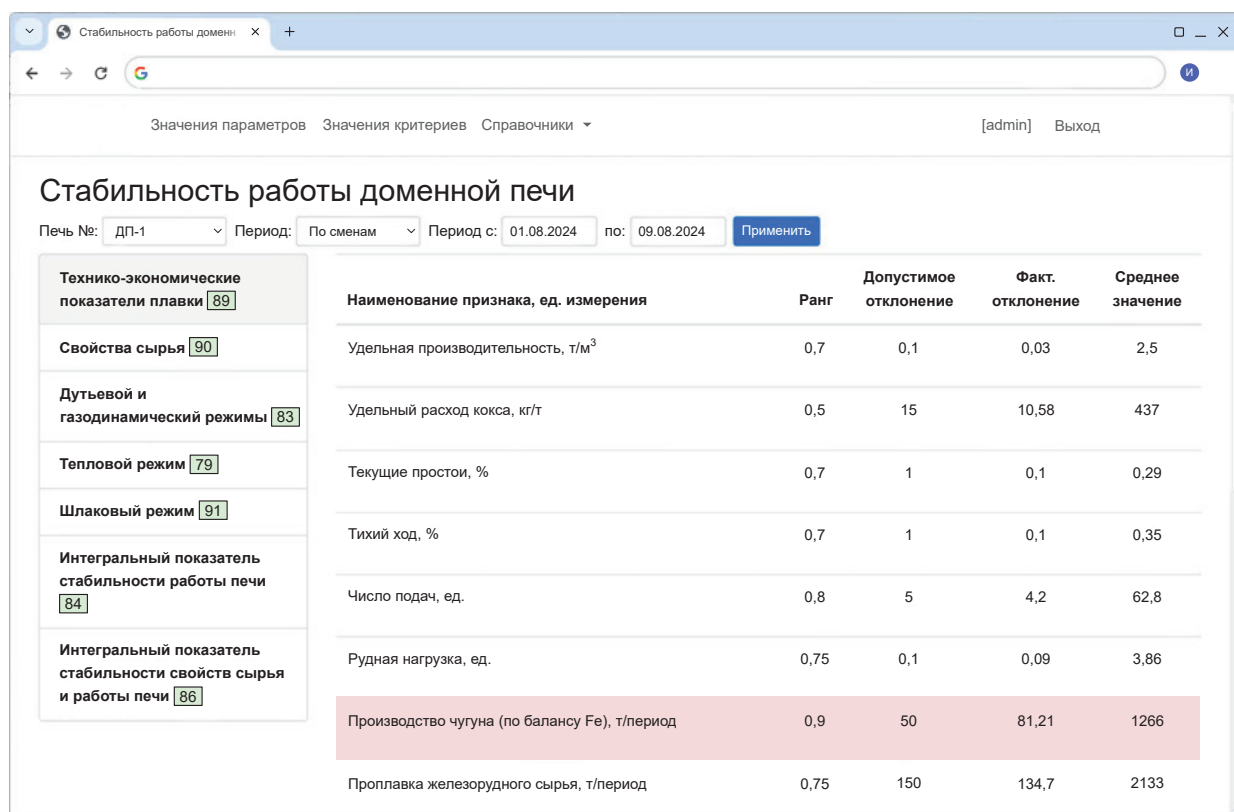


Рис. 2. Фрагмент веб-страницы оценки нестабильности технико-экономических и технологических показателей доменной печи

Fig. 2. Fragment of a web page for assessing the instability of technical, economic and technological indicators of a blast furnace

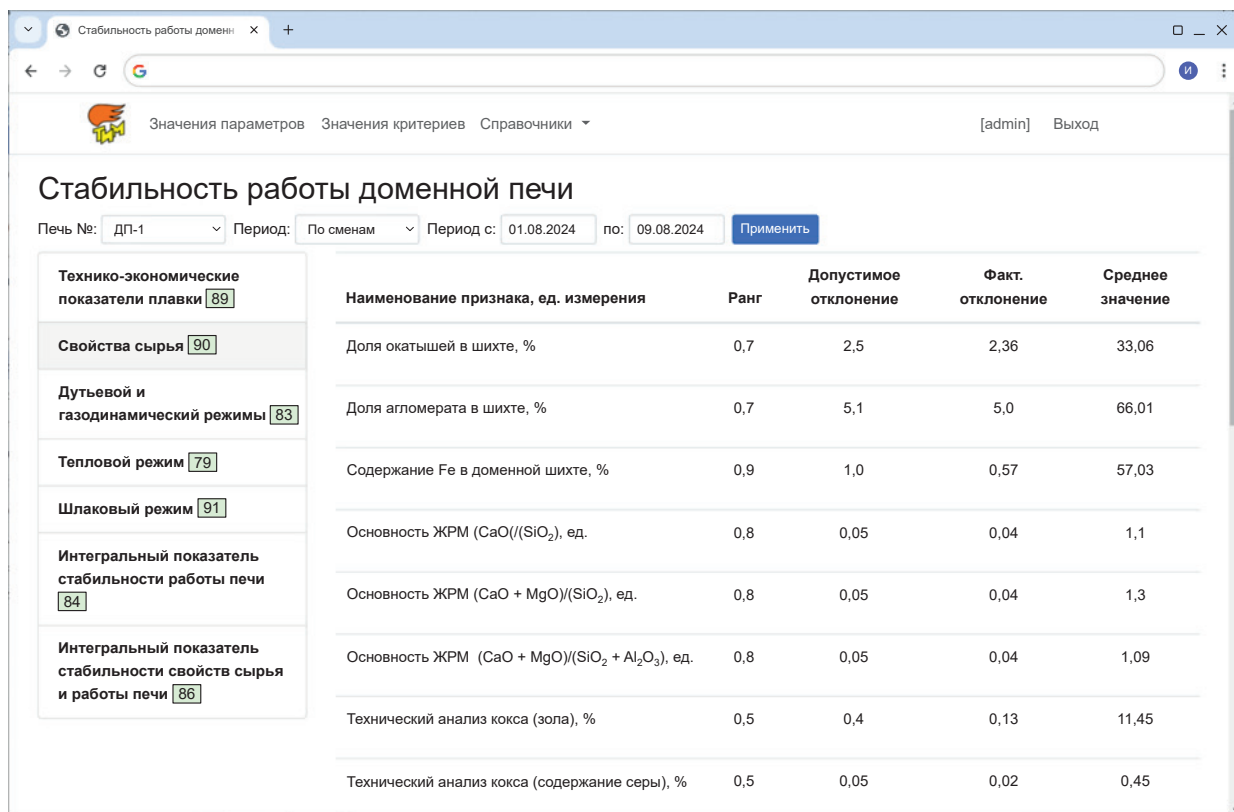


Рис. 3. Фрагмент веб-страницы оценки нестабильности свойств сырья (железорудных материалов, кокса, флюсов)

Fig. 3. Fragment of a web page for assessing the instability of raw material properties (iron ore materials, coke, fluxes)

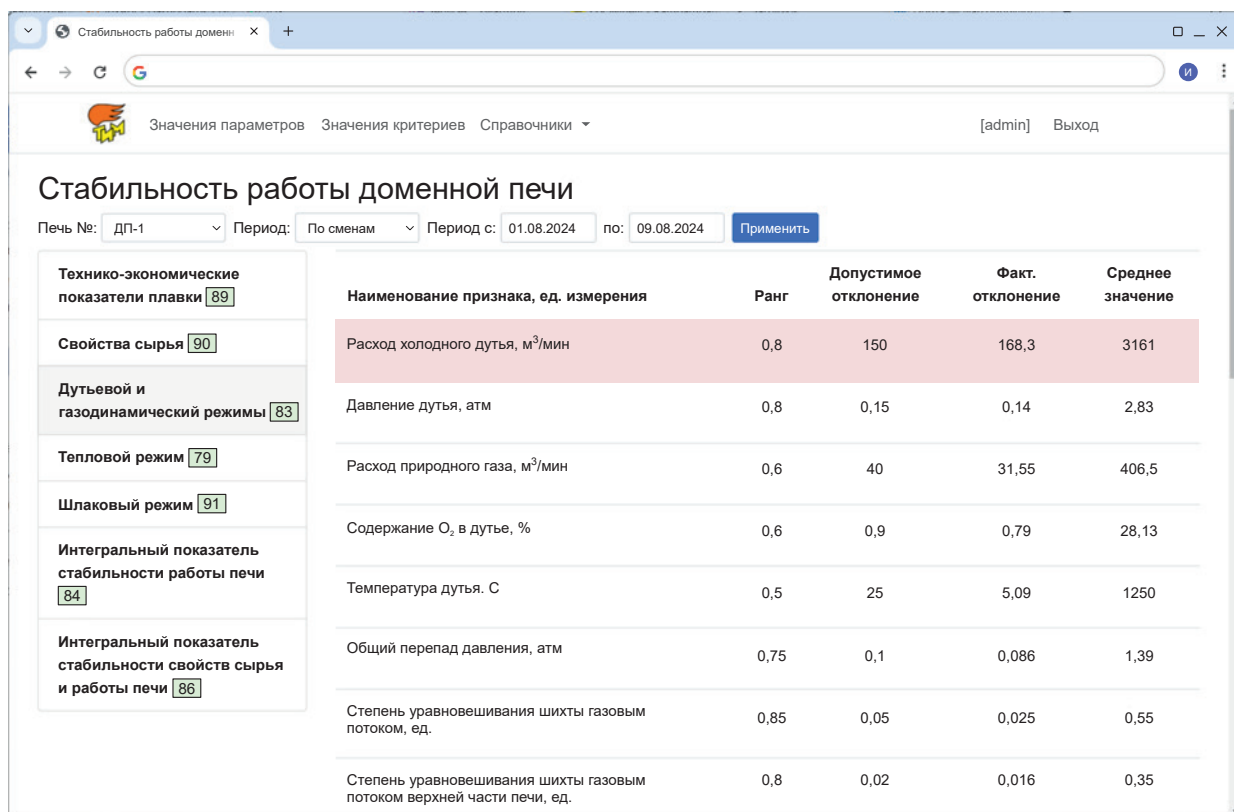


Рис. 4. Фрагмент веб-страницы оценки нестабильности показателей дутьевого и газодинамического режимов доменной печи

Fig. 4. Fragment of a web page for assessing the instability of indicators of blast and gas dynamic modes of a blast furnace

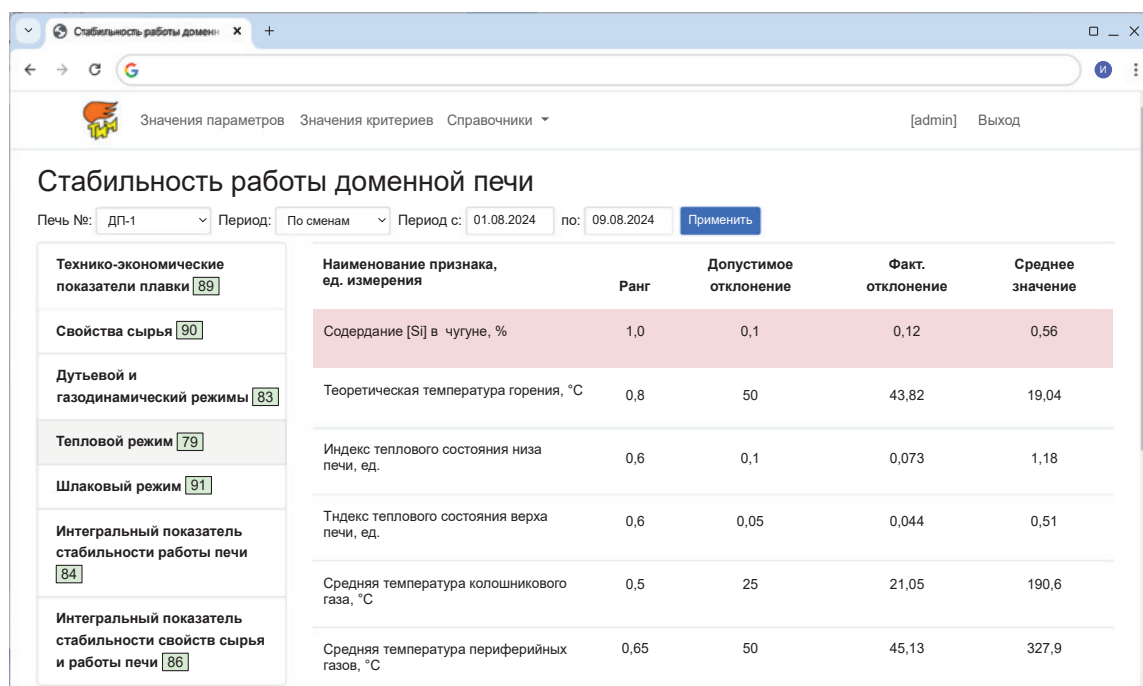


Рис. 5. Фрагмент веб-страницы оценки нестабильности показателей теплового режима

Fig. 5. Fragment of a web page for assessing the instability of thermal mode indicators

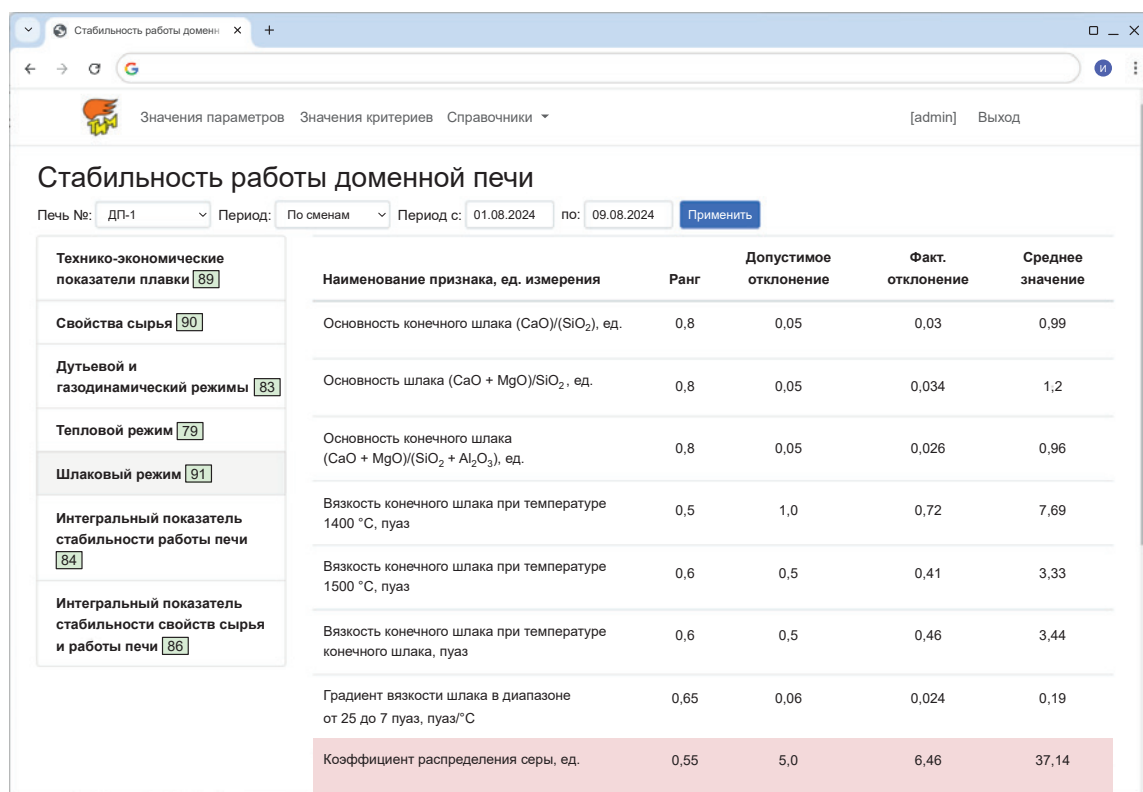


Рис. 6. Фрагмент веб-страницы оценки нестабильности показателей шлакового режима

Fig. 6. Fragment of a web page for assessing the instability of slag mode indicators

создания виртуальных схем баз данных. Она позволяет манипулировать данными на уровне объектов или классов. Ввод исходных данных о работе доменной печи за

период может осуществляться как через программный интерфейс и интеграцию с системами АСУ ТП доменных печей, так и вручную.

ОПИСАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Разработанный программный модуль позволяет:

1. Выбирать нужные периоды работы с помощью календаря (возможность выбора продолжительности периода для усреднения данных – час, смена, сутки, неделя, выпуск).
2. Выбирать одну или несколько доменных печей, для которых будет выполняться анализ.
3. Проводить расчет средних значений комплекса показателей и их среднеквадратичных отклонений.
4. Получать результаты анализа в удобном виде (таблицы и гистограммы: каждая доменная печь может иметь свой цвет для базового и сравнительного периодов).
5. Получать уведомления, если значения за пределами допустимого диапазона (возможность настройки уведомлений для всех или для выбранных доменных печей).

На рис. 2 – 6 представлены фрагменты веб-страниц информационно-моделирующей системы с результатами моделирования оценки нестабильности работы доменной печи.

Результаты моделирования в рассматриваемом периоде показали стабильность работы при оценке технико-экономических и технологических показателей, свойств сырья, показателей дутьевого и газодинамического режимов, шлакового режима. При оценке теплового режима присутствовала нестабильность работы доменной печи. Значения интегральных показателей превышают 80 %, что показывает стабильность работы доменной печи.

Выводы

С использованием современных информационных технологий разработана информационно-моделирующая система оценки нестабильности функционирования доменной печи. Система обеспечивает автоматизированный сбор данных и их обработку, определяет комплекс параметров, характеризующих технико-экономические и технологические показатели плавки, свойства сырья, показатели теплового, дутьевого, газодинамического режимов и отработки жидких продуктов плавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Спирин Н.А., Лавров В.В., Гурин И.А., Зубаков С.В. Оценка нестабильности функционирования доменной печи. В кн.: *Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2024. Труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием)*. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ; 2024:167–171.
2. Товаровский И.Г. Доменная плавка. Днепропетровск: Пороги; 2009:768.
3. Товаровский И.Г., Меркулов А.Е. Аналитическое исследование процессов и режимов доменной плавки при различных содержаниях железа в шихте. *Черная метал-*

лургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2010;(4(1324)):19–27.

Tovarovsky I.G., Merkulov A.E. Analytical study of blast-furnace smelting processes and modes at various iron contents in the charge. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2010;(4(1324)): 19–27. (In Russ.).

4. Современный доменный процесс / М. Геердес, Р. Ченью, И. Курунов, О. Лингарди, Д. Риккетс. Москва: Металлургиздат; 2016:280.
5. Остроухов М.Я., Шпарбер Л.Я. Справочник мастера-доменщика. Москва: Металлургия; 1977:304.
6. Bolshakov V.I., Semenov Y.S., Ivancha N.G., Vishnyakov V.I., Shumelchik E.I., Podkorytov A.L., Semion I.Y., 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.
7. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. Киев: Наукова думка; 2007:411.
8. 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 blast furnace hearth. *Stal'*. 2009;(5):7–9. (In Russ.).
9. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса. Магнитогорск: МГТУ; 2009:257.
10. 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>
11. Cameron I., Sukhrum 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>
12. Gordon Y., Izumskiy N., Matveienko G., Chaika O., Lebid V., Vyshinskya O. Diagnostics, optimization and mathematical models of coke-sinter-hot metal production process. In: *AISTech 2019 – Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference*. 2019;2019:479–484.
<https://doi.org/10.33313/377/050>
13. Agrawal A., Agarwal M.K., Kothari A.K., Mallick S. A mathematical model to control thermal stability of blast furnace using proactive thermal indicator. *Ironmaking & Steelmaking*. 2019;46(2):133–140.
<https://doi.org/10.1080/03019233.2017.1353765>
14. Ueda S., Natsui S., Nogami H., Yagi J., Ariyama T. Recent progress and future perspective on mathematical modeling of blast furnace. *ISIJ International*. 2010;50(7):914–923.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.50.914>
15. Taylor A.G. The application of principal component analysis for predicting blast furnace stability. *IFAC Proceedings Volumes*. 1998;31(23):223–226.
[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)35884-6](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)35884-6)
16. Некоторые вопросы технологии, управления и диагностики доменной плавки: монография / А.В. Павлов, О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.В. Лавров, И.А. Гурин. Екатеринбург: АМК «День РА»; 2023:282.

17. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки: монография / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, А.В. Краснобаев, О.П. Онорин, И.Е. Косаченко. Екатеринбург: УрФУ; 2011:462.
18. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилева, А.В. Краснобаев, В.С. Швыдкий, О.П. Онорин, К.А. Щипанов, А.А. Бурыкин; под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УрФУ; 2014:558.
19. Методология функционального моделирования IDEF0. Госстандарт России. Москва: ИПК «Издательство стандартов»; 2000:75.
20. Waissi G.R., Demir M., Humble J.E., Lev B. Automation of strategy using IDEF0 – A proof of concept. *Operations Research Perspectives*. 2015;2:106–113.
<https://doi.org/10.1016/j.orp.2015.05.001>
21. Попов А.И. Свободные инструменты проектирования информационных систем. Москва: ИПК «Издательство стандартов»; 2014:78.
22. 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>
23. Перальта Х. Микросервисы и API. Санкт-Петербург: Питер; 2024:464.
Peralta J.H. Microservice APIs in Python: Using Python, Flask, Fastapi, Openapi and More. [Manning Publications; 2023:425.
24. Прайс М. C# 10 и .NET 6. Современная кросс-платформенная разработка, 6-е изд.: пер. с англ. Санкт-Петербург: Питер; 2023:848.

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

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

Вклад авторов

Contribution of the Authors

Н. А. Спирин – идея статьи, обоснование актуальности темы, подготовка концепции, развернутого плана и чернового варианта статьи, подготовка примеров практической реализации современных информационных систем в промышленности, 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 и проверка библиографических ссылок, подготовка материалов статьи к публикации.

N. A. Spirin – creating the article idea, justifying the topic relevance, conceptualization, preparing a detailed plan and draft version of the article, preparing examples of practical implementation of modern information systems in industry, selecting references, final editing, preparing a conclusion.

I. A. Gurin – development of the sections content related to the development and software implementation of modern information systems in metallurgy, preparing abstracts and keywords, translation of the article materials into English.

V. V. Lavrov – development of the main sections content, selection and verification of references, preparing of the article materials for publication.

Поступила в редакцию 22.02.2025

После доработки 21.03.2025

Принята к публикации 24.03.2025

Received 22.02.2025

Revised 21.03.2025

Accepted 24.03.2025