

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИINFORMATION TECHNOLOGIES AND
AUTOMATIC CONTROL IN FERROUS METALLURGY

УДК 669.02/09.001.575(075.8)

DOI 10.17073/0368-0797-2026-1-75-83



Оригинальная статья

Original article

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ
ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЕЙ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ*Н. А. Спирин[✉], В. В. Лавров, И. А. Гурин, К. А. Щипанов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Россия, 620062, Екатеринбург, ул. Мира, 28)

✉ n.a.spirin@urfu.ru

Аннотация. В работе представлен комплексный подход к разработке и внедрению информационно-моделирующих систем (ИМС), предназначенных для управления технологией доменной плавки. Основное внимание уделено созданию математических моделей теплового, газодинамического и шлакового режимов, которые позволяют более точно прогнозировать поведение доменной печи в условиях изменяющихся свойств сырья и параметров комбинированного дутья. Представленные результаты демонстрируют, что применение модульной архитектуры построения информационных систем и современных вычислительных технологий позволяет расширить набор технологических параметров для оценки хода доменной плавки, повысить эффективность мониторинга производственных процессов и снизить издержки на разработку и сопровождение программного обеспечения информационных систем за счет их автоматизации. Использование модульной архитектуры и микросервисных технологий обеспечивает гибкость, масштабируемость и возможность адаптации программных решений под конкретные производственные задачи. В статье приведены результаты разработки программного обеспечения подсистем расчета показателей теплового и газодинамического режимов, а также прогнозирования содержания кремния в чугуне и свойств конечного шлака. Практическая реализация выполнена с использованием современных технологий .NET, PostgreSQL, Docker и DevOps-инструментов. Сравнительный анализ работы подсистем подтвердил их эффективность при интеграции с АСУ ТП и производственными базами данных. Проведены тестовые испытания на реальных промышленных данных. Полученные результаты свидетельствуют о высокой практической значимости внедрения ИМС для обеспечения стабильности и эффективности доменной плавки в условиях цифровой трансформации металлургического производства.

Ключевые слова: доменное производство, система поддержки принятия решений, информационно-моделирующая система, тепловой режим, газодинамический режим, шлаковый режим, программное обеспечение

Для цитирования: Спирин Н.А., Лавров В.В., Гурин И.А., Щипанов К.А. Разработка и реализация информационно-моделирующих систем для управления технологией доменной плавки. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2026;69(1):75–83.

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-1-75-83>

* По материалам XVI Международной научной конференции «Физико-химические основы металлургических процессов» имени академика А.М. Самарина.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION
OF INFORMATION MODELING SYSTEMS
FOR MANAGING BLAST FURNACE SMELTING TECHNOLOGY*N. A. Spirin[✉], V. V. Lavrov, I. A. Gurin, K. A. Shchipanov

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (28 Mira Str., Yekaterinburg 620062, Russian Federation)

✉ n.a.spirin@urfu.ru

Abstract. The article presents an integrated approach to the development and implementation of information modeling systems (IMS) designed to control blast furnace smelting technology. The main attention is paid to the creation of mathematical models of thermal, gas-dynamic and slag modes which allow more accurate prediction of the blast furnace behavior under conditions of changing raw material properties and combined

blast parameters. The presented results demonstrate that the use of a modular architecture for building information systems and modern computing technologies allows expanding the set of process parameters for assessing the progress of blast furnace smelting, increasing the efficiency of monitoring production processes and reducing the costs of developing and maintaining software for information systems due to their automation. It is shown that the use of a modular architecture and microservice technologies provides flexibility, scalability and the ability to adapt software solutions to specific production tasks. The article presents the results of developing software for subsystems for calculating thermal and gas-dynamic modes, as well as predicting the silicon content in cast iron and the properties of the final slag. Practical implementation is carried out using modern .NET, PostgreSQL, Docker and DevOps tools. A comparative analysis of the subsystems' operation confirmed their efficiency when integrated with the automated process control system and production databases. The tests were conducted on real industrial data. The obtained results indicate the high practical significance of implementation of the integrated management system for ensuring the stability and efficiency of blast furnace smelting in the context of digital transformation of metallurgical production.

Keywords: blast furnace production, decision support system, information modeling system, thermal mode, gas-dynamic mode, slag mode, software

For citation: Spirin N.A., Lavrov V.V., Gurin I.A., Shchipanov K.A. Development and implementation of information modeling systems for managing blast furnace smelting technology. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2026;69(1):75–83. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-1-75-83>

* Based on the materials of the 16th International Scientific Conference “Physicochemical Foundations of Metallurgical Processes” named after Academician A.M. Samarin.

Современное доменное производство является сложной, энергонасыщенной, распределенной технологической системой, в которой протекают сложные физико-химические процессы в условиях высоких температур и давления, что подробно рассмотрено в фундаментальных трудах по металлургии чугуна и доменной плавке (Вегман Е.Ф. [1; 2], Юсфин Ю.С. [3], Товаровский И.Г. [4; 5], Бабарыкин Н.Н. [6], Рамм А.Н. [7], Шаврин С.В. [8], Дмитриев А.Н. [9 – 11] и др. [12 – 14]). Управление этим процессом требует использования модельных систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих повысить эффективность работы доменных печей, снизить затраты на сырьевые и топливно-энергетические ресурсы, а также стабилизировать качество выпускаемых жидких продуктов плавки [15 – 19].

Традиционные методы управления доменным процессом основываются на эмпирическом опыте операторов и использовании различных математических моделей. Однако, учитывая относительно высокую изменчивость параметров доменного процесса и сложность их взаимосвязей [20; 21], эти подходы часто оказываются недостаточными. Информационно-моделирующие системы (ИМС) представляют собой специализированные системы, предназначенные для анализа, прогнозирования и оптимизации процессов в доменном производстве с использованием математических моделей и методов обработки исторических отчетных данных. Они обладают характеристиками классических СППР (сбор данных, обработка, анализ и выработка рекомендаций), но дополнительно используют методы математического моделирования (например, теплового, шлакового, газодинамического режимов доменной плавки и др.), позволяют интегрировать данные из систем автоматизированного управления технологическим процессом (АСУ ТП), анализировать их в реальном времени и предлагать оптимальные решения на основе математического моделирования [15 – 19].

Использование СППР в доменном производстве направлено на решение ряда задач:

- **Оптимизация использования ресурсов.** Доменный процесс требует значительных затрат сырья (руда, кокс, флюсы) и энергоресурсов (горячий дутье, природный газ, кислород и т. д.). Модельная СППР позволяет оптимизировать расход этих ресурсов путем автоматизированного расчета их необходимых количеств и параметров подачи. Это достигается благодаря математическим моделям, которые учитывают текущие условия работы печи, а также прогнозируют последствия различных режимов работы.

- **Стабилизация хода технологического процесса.** Доменная печь работает в условиях протекания теплового, шлакового, газодинамического, дутьевого и других режимов плавки, которые непрерывно подвержены внешним и внутренним возмущениям. Модельная СППР помогает инженерно-технологическому персоналу своевременно стабилизировать технологический процесс, минимизируя колебания основных ключевых режимных параметров (расхода кокса, производительности печи, состава чугуна, шлака и др.).

- **Прогнозирование работы доменных печей** при изменении свойств шихтовых материалов, параметров комбинированного дутья и других режимных параметров.

- **Гибкость и адаптивность к внешним экономическим изменениям.** В условиях быстро меняющихся рыночных и производственных условий (например, изменения цен на сырье, требований по качеству продукции, объема производства и др.) СППР позволяет оперативно адаптировать параметры управления процессом. Благодаря моделям, способным учитывать новые данные и изменения в реальном времени, система становится более гибкой и готовой к оперативной реакции на изменения.

- **Интеграция с автоматизированными системами управления.** СППР должна быть интегрирована с существующими автоматизированными системами управления производством (АСУ ТП), что обеспечивает непрерывный обмен данными между системой поддержки принятия решений и процессом. Это позво-

ляет создать контур управления, где решения принимаются и реализуются в автоматизированном режиме, что минимизирует человеческий фактор и повышает эффективность управления.

В совокупности эти аспекты делают создание и внедрение СППР для доменного производства не просто технологическим усовершенствованием, а необходимым шагом для повышения конкурентоспособности металлургических предприятий, повышения их устойчивости в условиях рыночных изменений и перехода к более эффективному производству.

Основные идеи создания модельной системы поддержки принятия решений для доменного производства включают в себя:

- разработку и применение математических моделей доменного процесса;
- возможность решения задач оптимизации;
- интеграцию СППР с реальными производственными данными;
- предоставление рекомендаций в реальном режиме времени и адаптация к изменениям технологического процесса и внешним условиям.

Математические модели доменного процесса позволяют моделировать отдельные аспекты доменного процесса, например, тепловой, шлаковый, газодинамический, дутьевой режимы доменной плавки, режим движения материалов по высоте печи и др. Как показал опыт разработки и применения математических моделей в доменном производстве, хорошо зарекомендовали себя концепция опорно-возмущенного движения и натурно-модельный подход к моделированию, разработанные в Сибирском государственном индустриальном университете [22; 23].

Концепция опорно-возмущенного движения к моделированию предполагает использование «опорной» (базовой) модели, которая математически описывает основные характеристики доменного процесса, и «возмущений», которые моделируют отклонения от идеальной работы системы и формируют проектный (прогнозируемый) период. Опорная модель может быть статичной, а возмущения описываются динамическими переменными – коэффициентами линеаризации, отражающими изменяющиеся условия. Эти коэффициенты позволяют представить нелинейные зависимости системы в упрощенной линейной форме. Линеаризация нелинейных уравнений системы вокруг точки равновесия или определенного рабочего состояния системы позволяет получить линейную модель, адекватно отражающую поведение системы при небольших отклонениях от этой рабочей точки. В такой модели коэффициенты линеаризации определяют степень изменения выхода системы в ответ на малые возмущения входных параметров.

Натурно-модельный подход к моделированию предполагает, что реальный физический процесс комбинируется с его математической моделью для получения

более точных результатов. Натурные (производственные) данные используются для верификации и настройки модели, что позволяет улучшить ее точность и сделать прогнозы более надежными.

Области применимости вышеуказанных подходов для реализации компьютерной системы доменного производства включают в себя:

– *оптимизацию параметров доменного процесса.* Линеаризация моделей и использование опорно-возмущенного подхода позволяют разрабатывать адаптивные алгоритмы управления, которые могут оперативно корректировать параметры процесса на основе текущих производственных данных;

– *прогнозирование параметров.* Натурно-модельный подход обеспечивает более точное прогнозирование будущих состояний процесса, что важно для принятия решений в реальном времени, например, в условиях изменяющихся дутьевых параметров, состава и расходов загружаемых железорудных материалов и кокса, колебаний состава жидких продуктов доменной плавки;

– *диагностика и мониторинг.* Линеаризация позволяет упростить модели для быстрого анализа и обнаружения отклонений от нормальной работы доменной печи, что помогает в разработке систем диагностики и мониторинга, например, теплового, шлакового, газодинамического режимов, хода доменной плавки.

СППР должны поддерживать решение задач оптимизации, например, оптимизации состава и свойств железорудной шихты, оптимального расхода сырьевых и топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей. Оптимизация осуществляется на основе использования технико-экономических моделей и прогнозирования результатов работы печей для различных способов и параметров технологических воздействий (управления).

Важная часть СППР – интеграция их с реальными производственными данными, получаемыми от АСУ ТП и АСУП, для настройки моделей в режиме реального времени и обеспечения надежных прогнозов.

Модельная система должна предоставлять инженерно-технологическому персоналу доменного производства рекомендации по управлению процессом в режиме реального времени, учитывая текущие сырьевые и топливно-энергетические условия и оперативные цели. Модельная система должна также быть способна адаптироваться к изменениям в технологическом процессе и внешним условиям благодаря использованию опорно-возмущенного подхода к моделированию и наличию блока нормативно-справочной информации.

В статье представлены отдельные подсистемы программного комплекса «Анализ и прогнозирование производственных ситуаций доменного цеха» (АИППС ДЦ), архитектура которого отражена на рис. 1 [15]. Программный комплекс АИППС ДЦ представляет собой многофункциональную информационно-моделирующую систему, предназначенную для опе-

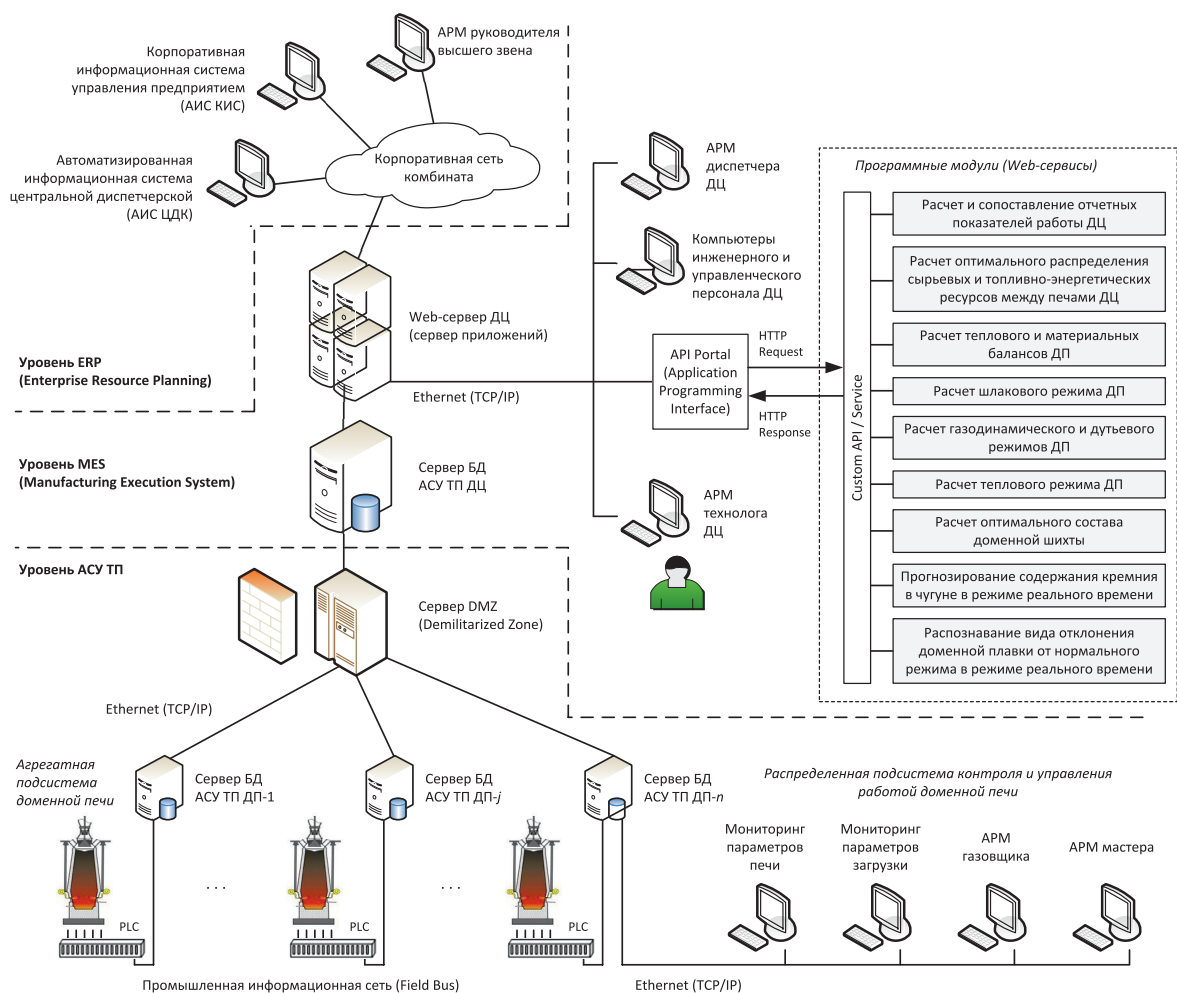


Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха

Fig. 1. Architecture of an automated system for analyzing and forecasting the production situations in a blast furnace shop

ративного контроля и прогнозирования состояния доменного процесса. Его разработка направлена на решение ключевых задач управления металлургическим производством с учетом динамических изменений технологических параметров и влияния внешних факторов.

В работе представлено описание следующих подсистем:

- расчета показателей теплового режима;
- расчета показателей газодинамического режима;
- прогнозирования содержания кремния в чугуне;
- прогнозирование состава и свойств конечного шлака.

Каждая из подсистем решает специфические задачи, связанные с анализом и управлением технологическими параметрами доменного процесса. Комплексная интеграция этих подсистем в единую информационно-моделирующую среду позволяет значительно повысить уровень автоматизации и интеллектуального контроля металлургического производства.

В основе архитектуры комплекса лежит модульный принцип [24 – 26], обеспечивающий гибкость,

масштабируемость и возможность адаптации системы под конкретные производственные условия. Основные модули комплекса включают:

- модуль сбора и обработки данных, который агрегирует информацию из баз данных АСУТП и АСУП доменного цеха;
- аналитические модули (микросервисы [27 – 30]), выполняющие математическое моделирование процессов;
- интерфейсный модуль, обеспечивающий удобный доступ к данным и результаты расчетов для операторов и технологов.

Подсистема расчета показателей теплового режима доменной плавки обеспечивает расчет теплового баланса доменной печи, включая расход и распределение тепла по зонам. Уравнения теплового баланса интегрируют параметры шихты (руда, кокс, флюсы), дутьевые характеристики (температура, влажность, кислород) и свойства жидких продуктов. В основу программной реализации положена трехзвенная архитектура: клиентский модуль для визуализации [31 – 34]), API-сервер [35; 36] (.NET 8 с модулем аутентификации

через JWT) и СУБД (PostgreSQL [37; 38]). Для тестирования системы применен Swagger. Результаты экспортируются в Excel. Фрагмент пользовательского интерфейса представлен на рис. 2.

Подсистема расчета показателей газодинамического режима направлена на предотвращение «подвисания» столба шихтовых материалов в доменной печи. Математическая модель включает расчет степени уравнивания шихты, критического расхода дутья, скорости фильтрации доменного газа в различных зонах печи и др. Влияние технологических воздействий (например, параметров дутья, свойств железоруд-

ных материалов и кокса и др.) прогнозируется в модели на основе концепции опорно-возмущенного воздействия через линеаризованные уравнения. Программная реализация подсистемы выполнена на основе микросервисной архитектуры с REST API [27 – 30], интегрированной с API-сервером [35; 36]. Визуализация выполнена с использованием Frappe.js. Для развертывания системы использован Docker Compose [30; 39 – 41]. Фрагмент пользовательского интерфейса представлен на рис. 3.

В основу математического обеспечения **подсистемы прогнозирования содержания кремния**

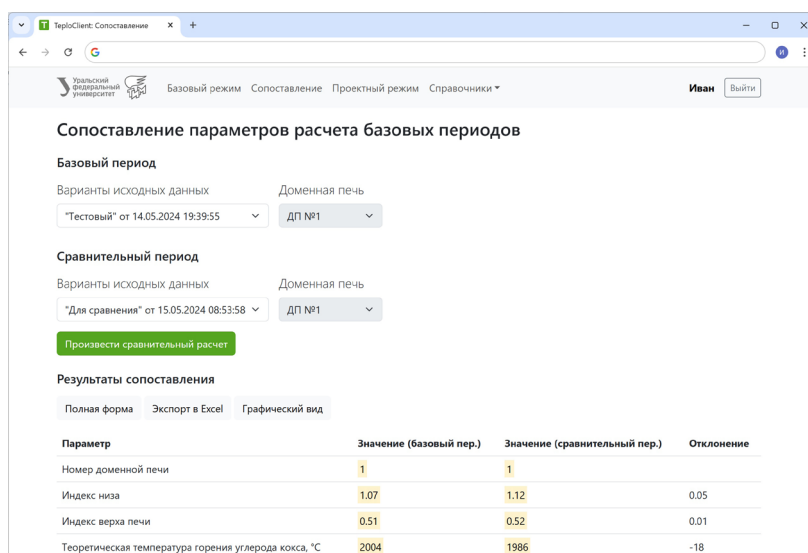


Рис. 2. Фрагмент веб-страницы подсистемы расчета показателей теплового режима доменной плавки

Fig. 2. Fragment of a web page of the subsystem for calculating the thermal mode indicators of blast furnace smelting

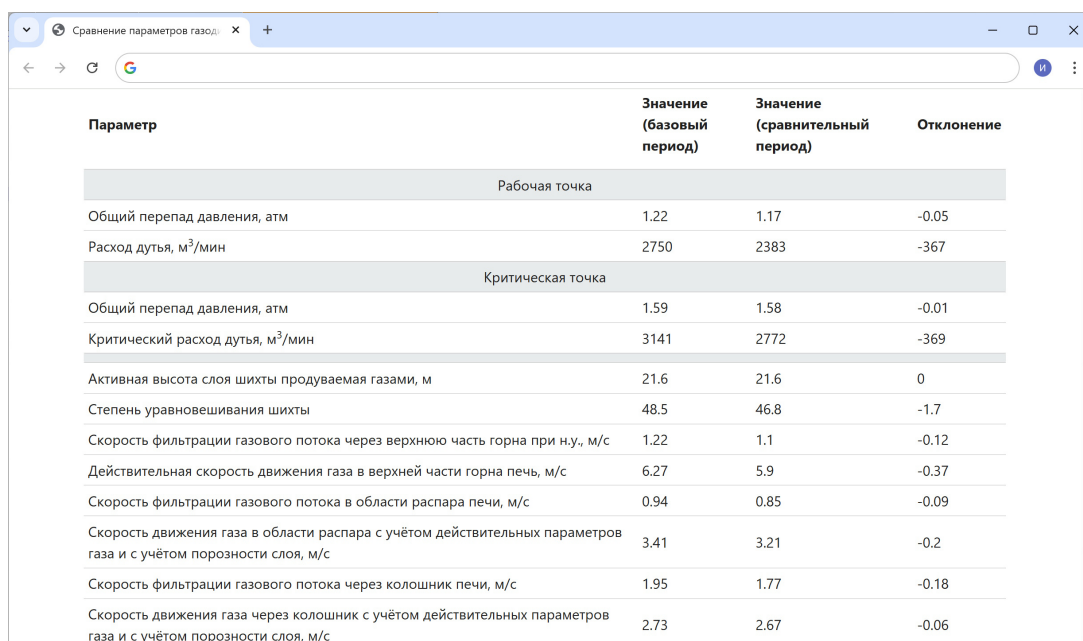


Рис. 3. Фрагмент веб-страницы подсистемы расчета показателей газодинамического режима доменной плавки

Fig. 3. Fragment of a web page of the subsystem for calculating the gas-dynamic mode of blast furnace smelting

APM Мастера ▾

Прогнозирование ▾

Данные о процессе ▾

Диагностика отклонений

Справочники ▾

Прогнозирование кремния в чугуна

Количество выпусков: 50 ▾ дп 9 ▾ Применить

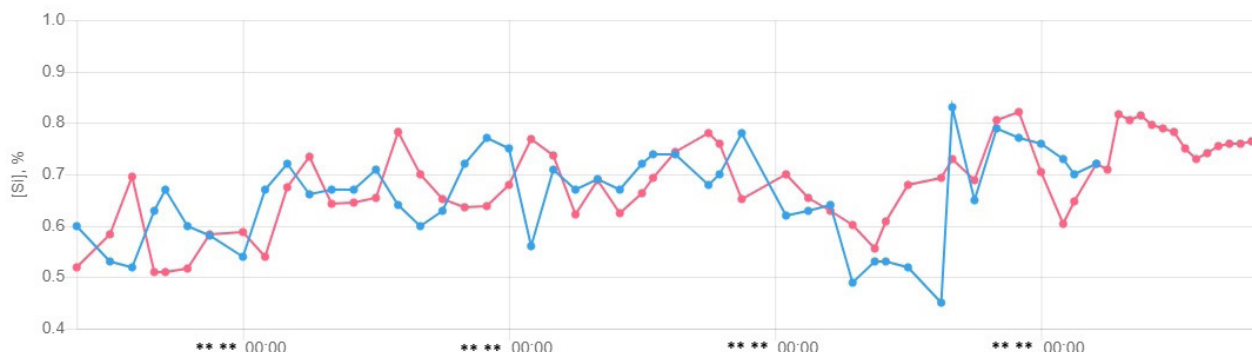


Рис. 4. Фрагмент веб-страницы подсистемы прогнозирования содержания кремния в чугуне

Fig. 4. Fragment of a web page of the subsystem for predicting silicon content in cast iron

в чугуна положен принцип суперпозиции для расчета влияния рудной нагрузки, дутьевых параметров, состава шлака и других параметров. В модели учтены нестационарные процессы и запаздывание реакции печи на управляющие воздействия [20; 21]. Программная реализация представляет собой веб-приложение на ASP.NET MVC [33; 34] с модулем OLAP-анализа. Графики переходных процессов формируются через

JavaScript-библиотеки. Фрагмент пользовательского интерфейса представлен на рис. 4.

В процессе исследования по накопленным измеренным данным [Si] установлено, что среднеквадратичное отклонение содержания кремния в пробах чугуна по измеренным данным составляет 0,09 %. Такое отклонение объясняется изменениями характеристик дутья, рудной нагрузки, колебаниями свойств шихты и дру-

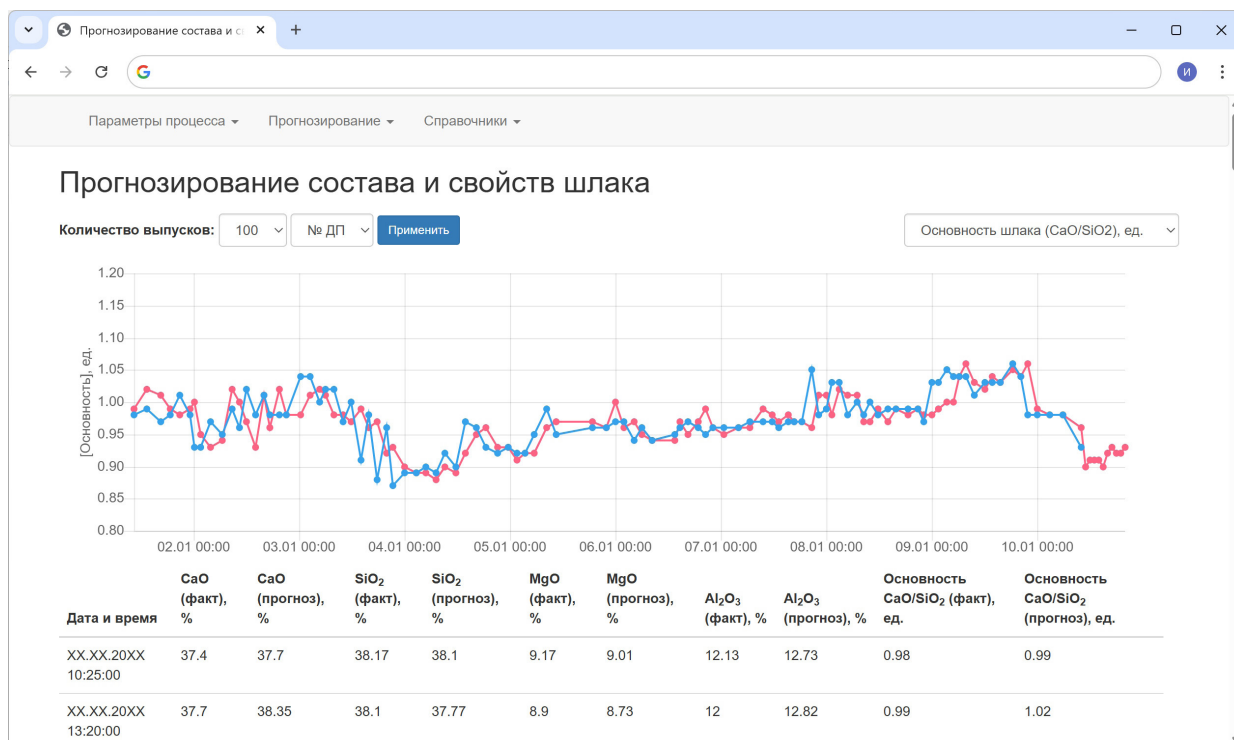


Рис. 5. Фрагмент веб-страницы подсистемы прогнозирования состава и свойств конечного шлака

Fig. 5. Fragment of a web page of the subsystem for predicting the composition and properties of the final slag

гими факторами. При этом среднеквадратичное отклонение прогнозируемого содержания кремния в чугунах от измеренного по представленным данным составляет также 0,09 %. Доля погрешностей прогнозов в интервале 0 – 0,1 % составляет 70 %, а в интервале 0,11 – 0,20 % – 26 %. Полученные результаты позволяют сделать вывод об удовлетворительном согласовании прогнозируемых и фактических значений содержания кремния в чугунах.

Подсистема прогнозирования состава и свойств конечного шлака позволяет оценивать ход восстановительных процессов в доменной печи (рис. 5). Математическая модель производит расчет вязкости и основности шлака при температурах 1400 – 1500 °С, политемпературной вязкости шлака и градиенты вязкости. Программная реализация включает консольное приложение для сбора и хранения данных, веб-интерфейс с диагностическими рекомендациями. Предусмотрена интеграция с Entity Framework и Docker [30; 39 – 41].

Объединение этих подсистем в единый программный комплекс позволяет получать комплексную оценку состояния доменного процесса, оперативно реагировать на изменения параметров и прогнозировать возможные критические ситуации. Взаимодействие подсистем обеспечивается за счет единого централизованного хранилища данных, а также интеграции с системами управления технологическим процессом.

Для реализации программного комплекса применяются современные информационные системы и технологии, включая:

- системы хранения и обработки больших данных (Big Data), позволяющие анализировать значительный объем фактических и расчетных показателей доменного процесса;
- комплекс математических моделей и алгоритмов для обработки хранимых данных и визуализации ключевых показателей для их оценки и формирования рекомендаций инженерно-технологическому персоналу доменного цеха;
- веб-технологии и микросервисная архитектура, обеспечивающие доступ к системе с различных рабочих мест и удаленный мониторинг работоспособности программного приложения и анализа логов;
- программные интерфейсы (API) для интеграции с существующими информационными системами металлургического предприятия;
- автоматизация процесса разработки, развертывания и мониторинга эксплуатации обновленных версий программного обеспечения на основе инструментов DevOps (GitHub, Docker, Jenkins, Prometheus, Grafana).

Выводы

Применение разработанных информационно-моделирующих систем в практике работы инженерно-технологического персонала доменного производства

позволяет повысить эффективность работы доменных печей, снизить затраты на сырьевые и топливно-энергетические ресурсы, а также стабилизировать качество выпускаемых жидких продуктов плавки. Анализ результатов тестирования показывает, что интеграция информационно-моделирующих систем в цифровую инфраструктуру металлургического предприятия способствует сокращению технологических сбоев, снижению затрат и повышению качества конечной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. и др. Металлургия чугуна: Учебник. Москва: Металлургия; 1989:512.
2. Вегман Е.Ф. Доменное производство: Справочное издание. Том 1. Подготовка руд и доменный процесс. Москва: Металлургия; 1989:496.
3. Юсфин Ю.С. Металлургия чугуна: Учебник для вузов. 3-е издание. Москва: ИКЦ «Академкнига»; 2004:774.
4. Товаровский И.Г. Эволюция, ход процессов, проблемы и перспективы. Днепропетровск: Пороги; 2003:596.
5. Товаровский И.Г. Доменная плавка. Днепропетровск: Пороги; 2009:765.
6. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса: Учебное пособие. Магнитогорск: МГТУ; 2009:257.
7. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. Москва: Металлургия; 1980:304.
8. Шаврин С.В. Математическое моделирование доменного процесса. Екатеринбург: УрО РАН; 1994:72.
9. Дмитриев А.Н., Шумаков Н.С., Леонтьев Л.И. и др. Основы теории и технологии доменной плавки. Екатеринбург: УрО РАН; 2005:547.
10. Дмитриев А.Н. Математическое моделирование доменного процесса. Екатеринбург: УрО РАН; 2011:162.
11. Дмитриев А.Н., Чэнь К., Золотых М.О. и др. Математическое моделирование доменного процесса. 2-е издание. Екатеринбург: АМБ; 2023:232.
12. Геердес М., Чень Р., Курунов И., Лингарди О., Риккетс Д. Современный доменный процесс. Москва: Металлургия; 2016:280.
13. Гилева Л.Ю., Каплун Л.И., Загайнов С.А. Металлургия чугуна: Учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ; 2021:128.
14. Ярошенко Ю.Г., Швыдкий В.С., Спирин Н.А. и др. Теплофизические основы тепловой работы металлургических печей. Екатеринбург: АМК «День РА»; 2019:464.
15. Спирин Н.А., Лавров В.В., Гуринов И.А. Системы поддержки принятия решений для управления технологическими процессами в пирометаллургии. 2-е издание. Екатеринбург: АМК «День РА»; 2024:308.
16. Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии. Екатеринбург: УрФУ; 2011:462.
17. Павлов А.В., Онорин О.П., Спирин Н.А. и др. Некоторые вопросы технологии, управления и диагностики доменной плавки. Екатеринбург: АМК «День РА»; 2023:282.

18. Онорин О.П., Спирин Н.А., Терентьев В.Л. и др. Компьютерные методы моделирования доменного процесса. Екатеринбург: УГТУ-УПИ; 2005:301.
19. Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП. Екатеринбург: УрФУ; 2014:558.
20. Овчинников Ю.Н., Мойкин В.И., Спирин Н.А. и др. Нестационарные процессы и повышение эффективности доменной плавки. Челябинск: Металлургия; 1989:120.
21. Мойкин В.И., Бабушкин Н.М., Боковиков Б.А. Динамические характеристики доменной печи по результатам математического моделирования. В кн.: *Вопросы производства чугуна в доменных печах*. Москва: Металлургия; 1984:46–52.
22. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф. Прогнозирование в системах управления. Новокузнецк: СибГИУ; 2002:358.
23. Емельянов С.В., Коровин С.К., Мышляев Л.П. и др. Теория и практика прогнозирования в системах управления. Москва: Российские университеты; 2008:487.
24. Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. Санкт-Петербург: Питер; 2022:352.
25. Ганди Р., Ричардс М., Форд Н. Head First. Архитектура ПО. Санкт-Петербург: Питер; 2025:480.
26. Форд Н., Садаладж П.Дж., Ричардс М., Дехгани Ж. Современный подход к программной архитектуре. Санкт-Петербург: Питер; 2023:480.
27. Ньюмен С. От монолита к микросервисам. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург; 2021:272.
28. Ньюмен С. Создание микросервисов. 2-е издание. Санкт-Петербург: Питер; 2023:624.
29. Беллемар А. Создание событийно-управляемых микросервисов. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург; 2022:320.
30. Кочер П.С. Микросервисы и контейнеры Docker. Москва: ДМК Пресс; 2019:240.
31. Волкман М. Svelte и Sapper в действии. Санкт-Петербург: Питер; 2022:496.
32. Фримен А. Angular для профессионалов. Санкт-Петербург: Питер; 2018:800.
33. Фримен А. ASP.NET Core MVC 2 с примерами на C#. 7-е издание. Санкт-Петербург: Диалектика; 2019:1008.
34. Троелсен Э., Джепикс Ф. Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core. 8-е издание. Санкт-Петербург: Диалектика; 2018:1328.
35. Арно Л. Проектирование веб-API. Москва: ДМК Пресс; 2020:440.
36. Перальта Х. Микросервисы и API. Санкт-Петербург: Питер; 2024:464.
37. Рогов Е.В. PostgreSQL 17 изнутри. Москва: ДМК Пресс; 2025:668.
38. Домбровская Г., Новиков Б., Бейликова А. Оптимизация запросов в PostgreSQL. Москва: ДМК Пресс; 2022:278.
39. Херинг М. DevOps для современного предприятия. Москва: ДМК Пресс; 2020:232.
40. Ким Д., Дебуа П., Уиллис Д., Хамбл Д. Руководство по DevOps. Москва: Манн, Иванов и Фербер; 2018:512.
41. Хамбл Д., Фарли Д. Непрерывное развертывание ПО. Москва: Диалектика-Вильямс; 2017:434.

Сведения об авторах

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

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

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

Кирилл Александрович Щипанов, к.т.н., доцент кафедры теплофизики и информатики в металлургии, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

ORCID: 0009-0004-1346-7002

E-mail: kirill.shchipanov@urfu.ru

Information about the Authors

Nikolai A. Spirin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Chair of 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

Vladislav V. Lavrov, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of 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

Ivan A. Gurin, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of 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

Kirill A. Shchipanov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Thermal Physics and Informatics in Metallurgy, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

ORCID: 0009-0004-1346-7002

E-mail: kirill.shchipanov@urfu.ru

Вклад авторов

Н. А. Спирин – создание идеи 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.

Contribution of the Authors

N. A. Spirin – formation of the article idea, justifying the relevance of the topic, preparing a concept, 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.

В. В. Лаэров – проработка содержания основных разделов, подбор и проверка библиографических ссылок, оформление статьи.

И. А. Гурин – проработка содержания разделов, связанных с разработкой и программной реализацией современных информационных систем в металлургии; подготовка рисунков, фрагментов пользовательского интерфейса программного обеспечения; написание аннотации, ключевых слов, перевод на английский язык материалов статьи.

К. А. Щипанов – проработка содержания разделов, связанных с подготовкой примеров и тестированием программного обеспечения информационно-моделирующих систем для статьи.

V. V. Lavrov – preparing the main sections content, selection and verification of references, article design.

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

K. A. Shchipanov – preparing the content of the sections related to preparation of examples and testing of software for information modeling systems.

Поступила в редакцию 10.04.2025

После доработки 16.09.2025

Принята к публикации 20.11.2025

Received 10.04.2025

Revised 16.09.2025

Accepted 20.11.2025
