

2. Товаровский И.Г. Доменная плавка / И.Г. Товаровский. – Днепропетровск: Пороги, 2009. – 765 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19604452>.
3. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. – М.: Металлургия, 1980. – 304 с.
4. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спириин, 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 с. Электронный научный архив УрФУ (полная версия), URL: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/27839>.
5. Мойкин В.И., Бабушкин Н.М., Боковиков Б.А. Динамические характеристики доменной печи по результатам математического моделирования // Вопросы производства чугуна в доменных печах: Темат. сб. научн. тр. МЧМ СССР (ИЧМ). – М.: Металлургия, 1984. – С. 46–52.
6. Нестационарные процессы и повышение эффективности доменной плавки / Ю.Н. Овчинников, В.И. Мойкин, Н.А. Спириин, Б.А. Боковиков. – Челябинск: Металлургия, 1989. – 120 с.
7. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев, А.С. Рыков, В.Ф. Евтушенко, С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь – Кемерово; М.: издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
8. Onorin O.P., Spirin N.A., Istomin A.S., Lavrov V.V., Pavlov A.V. Features of blast furnace transient processes // Metallurgist. Vol. 61. Iss. 1–2, 1 May 2017. Pp. 121–126. DOI: 10.1007/s11015-017-0464-2.
9. Математическое моделирование переходных процессов состава и свойств конечного шлака доменной печи / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, И.А. Гуриин, А.С. Истомина, К.А. Щипанов // Сталь. 2022. № 4. С. 2–6.
10. Лукас В.А. Теория управления техническими системами. 4-е издание. – Екатеринбург: УГГУ, 2005. – 677 с.

УДК 004.428.4:669.162.263

П. Р. Шамсимухаметов, И. А. Гуриин, В. В. Лавров, Н. А. Спириин
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ТРЕХЗВЕННОЙ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Аннотация. Значимой составляющей оценки и сопровождения теплового режима доменной плавки является мониторинг комплексных показателей, получение которых возможно с помощью расчетных параметров. Отражена постановка задачи, описаны методы и ре-

зультаты её решения. Представлена архитектура построения информационно-моделирующей системы для оценки теплового состояния верхней и нижней ступеней теплообмена доменной печи в базовом и проектном периоде. Описаны основные функциональные возможности реализованной системы.

Ключевые слова: доменная плавка, тепловой режим, проектные показатели, информационно-моделирующая система, .NET 6, Web API, Docker.

Abstract. An important component of the assessment and maintenance of the thermal regime of blast furnace melting is the monitoring of complex indicators, which can be obtained using calculated parameters. The problem statement is reflected, methods and results of its solution are described. The architecture of building an information modeling system for assessing the thermal state of the upper and lower stages of heat exchange of a blast furnace in the base and design period is presented. The basic functionality of the implemented system is described.

Key words: blast furnace melting, thermal regime, design indicators, information modeling system, .NET 6, Web API, Docker.

Введение. Тепловой режим доменной плавки охватывает процессы теплообмена между потоками газа и шихты в верхней и нижней зонах печи и определяется теплофизическими характеристиками потоков газа и шихты, а также тепловыми эффектами протекающих физико-химических процессов в объеме печи. В результате теплообменных процессов формируется температурное поле печи, которое в свою очередь определяет полноту и место протекания процессов восстановления оксидов железа и примесных элементов, и шлакообразования. В основу математического описания теплового состояния доменной печи положена концепция двухступенчатого развития процессов теплообмена – тепловое состояние доменной печи целесообразно рассматривать отдельно для верхней и нижней зон печи [1–8].

Значимой составляющей оценки и сопровождения теплового режима доменной плавки является мониторинг комплексных показателей, получение которых возможно с помощью расчетных параметров. Производство подобных расчетов ручным способом не гарантирует правильность результатов, в то время как использование современного программного обеспечения значительно повышает их качество и эффективность.

Постановка задачи. Необходимо разработать информационно-моделирующую систему, позволяющую производить оценку теплового состояния верхней и нижней ступеней теплообмена (индекс низа, индекс верха, температуры горения и др.) в базовом и проектном (прогнозируемом) периоде при изменении параметров загружаемой шихты, расхода различных видов ЖРМ, флюсов, их свойств, а также параметров комбинированного дутья.

Реализация поставленной задачи. Программная реализация информационно-моделирующей системы построена на основе трехзвенной клиент-серверной архитектуры (рисунок 1) и состоит из следующих компонентов [9; 10]:

- клиентское веб-приложение (пользовательский интерфейс) «ТерлоClient»;
- серверная часть «ТерлоAPI» в виде веб-сервиса (Web API);
- база данных PostgreSQL.

Взаимодействие клиентского веб-приложения с веб-сервисом осуществляется с помощью API-интерфейса с использованием протокола HTTP для обмена

данными [11]. Взаимодействие между веб-сервисом (серверной частью) и базой данных осуществляется с помощью SQL-запросов.

Клиентское веб-приложение (уровень представления) реализовано с помощью нового, быстроразвивающегося JavaScript фреймворка Svelte.js (SvelteKit), представляет собой пользовательский интерфейс для взаимодействия с серверной частью [12].

Серверная часть (уровень бизнес-логики) «ТеплоAPI» реализована на платформе .NET 6, содержит логику расчетов для моделирования теплового режима доменной плавки, обеспечивает взаимодействие со справочной информацией, а также функционал для аутентификации пользователей на основе стандарта JSON Web Token.

База данных PostgreSQL (уровень данных) используется серверной частью для хранения необходимой информации для обеспечения функциональности системы.



Рис. 1. Архитектура информационно-моделирующей системы теплового режима доменной плавки

Описание серверной части системы. Серверная часть системы «ТеплоAPI» состоит из трех основных компонентов: контроллеров, сервисов и репозиториев. Контроллеры предоставляют эндпоинты (на основе архитектурного стиля REST) для обеспечения взаимодействия с клиентской частью по протоколу HTTP, после чего выполняется бизнес-логика в соответствующих сервисах, которые, в свою очередь, взаимодействуют с базой данных посредством репозиториев.

Такой подход к построению Web API позволяет разделить обязанности, обеспечивает простоту масштабирования, а также повторное использование программного кода.

Каждый контроллер (рисунок 2) отвечает за предоставление эндпоинтов для реализации различных функциональных частей:

- «AuthController» предоставляет эндпоинты для аутентификации (регистрации, входа) пользователей в системе;
- «BaseController» предоставляет эндпоинты для произведения расчетов теплового режима доменной плавки в базовом периоде;
- «VariantController» предоставляет эндпоинты для взаимодействия со справочником вариантов исходных данных;
- «FurnaceController» предоставляет эндпоинты для взаимодействия со справочником доменных печей;

- «DailyController» предоставляет эндпоинты для взаимодействия со справочником посуточной информации работы доменных печей;
- «MaterialController» предоставляет эндпоинты для взаимодействия со справочником шихтовых материалов;
- «ProjectController» предоставляет эндпоинты для произведения расчетов теплового режима доменной плавки в проектном периоде;
- «ReferenceController» предоставляет эндпоинты для взаимодействия со справочником корректировочных коэффициентов, необходимых для расчета проектного периода.

Контроллеры Web API

● Необходима авторизация для вызова метода

Auth	Base	Variant	Furnace	Daily	Material	Project	Reference
POST /auth/signup	POST /base	GET /variant/default	GET /furnace	GET /daily	GET /material	POST /project	POST /reference
POST /auth/login	GET /base	GET /variant	GET /furnace/{id}	GET /daily/{id}	GET /material/{id}		GET /reference
GET /auth/user		DELETE /variant/{id}	POST /furnace	POST /daily	POST /material		
			PUT /furnace	PUT /daily	PUT /material		
			DELETE /furnace/{id}	DELETE /daily/{id}	DELETE /material/{id}		

Рис. 2. Описание эндпоинтов контроллеров серверной части «ТерлоAPI»

Описание клиентской части системы. На рисунке 3 представлен фрагмент страницы веб-приложения с формой для расчета теплового режима доменной печи в базовом периоде, на которой реализована возможность выбора сохраненного варианта исходных данных, доменную печь, а также посуточную информацию о работе доменной печи, после чего произвести необходимые расчеты, результаты которых представлены на рисунке 4.

Уральский федеральный университет TeploClient Базовый режим Сопоставление Проектный режим Справочники Павел Выйти

Расчет базового периода

Варианты исходных данных: По умолчанию
 Доменная печь: ДП №1
 Посуточная информация: Не выбрано

Выбрать шихтовые материалы

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Установленный уровень насыпи, мм	1000	Расход природного газа, м3/т чугуна	141.5
Число фурм, шт	20	Температура колошникового газа, С	200
Суточная производительность печи, т чугуна/сутки	3822.55	Давление колошникового газа, ати	1.45
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	405.6	СО в колошниковом газе, %	23.7
Удельный расход ЖРМ, кг/т чугуна	1656.5	СО2 в колошниковом газе, %	18.84
Доля окатышей в шихте, доли ед.	0.3567	Н2 в колошниковом газе, %	10.11
Расход дутья, м3/мин	2533.3	Содержание Si в чугуне, %	0.562
Температура дутья, С	1250	Содержание Mn в чугуне, %	0.268
Давление дутья, ати	2.85	Содержание P в чугуне, %	0.057
Влажность дутья, г/м3	1.9	Содержание S в чугуне, %	0.018
Содержание кислорода в дутье, %	28.55	Содержание C в чугуне, %	4.846

Рис. 3. Фрагмент страницы с формой для расчета теплового режима в базовом периоде

Содержание Mn в чугуна, %	0,562	Теплоёмкость кокса, кДж/(кг * С)	1,09
Содержание Мп в чугуна, %	0,268	Принятое значение температуры "резервной зоны", С	950
Содержание Р в чугуна, %	0,057	Доля тепловых потерь через нижнюю часть печи, доли ед.	0
Содержание S в чугуна, %	0,018	Средний размер куска шихты, м	0,018
Содержание С в чугуна, %	4,846	Теплота горения природного газа на фурмах, кДж/м3	1590
Содержание золы в коксе, %	11,53	Теплота неполного горения углерода кокса, кДж/кг	9800
Содержание летучих в коксе, %	0,72	Температура кокса, пришедшего к фурмам, °С	1500

Сохранить вариант исходных данных

Результаты расчета

Параметр	Значение
Номер доменной печи	1
Индекс низа	1,17
Индекс верха печи	0,5
Теоретическая температура горения углерода кокса, °С	2004
Дата проведения расчёта	28.04.2024

Copyright © 2024 | TeploAPI by Pavel Shamsikhmetov

Расчет базового периода выполнен успешно ✕

Рис. 4. Фрагмент страницы с сокращенными результатами расчета теплового режима доменной плавки в базовом периоде

Результаты расчетов можно отобразить как в полной, так и в краткой форме, а также экспортировать их в файл Microsoft Excel путём нажатия на соответствующие кнопки.

Пользовательский интерфейс содержит также следующие страницы: сопоставления расчетов в базовом периоде для разных вариантов, производство расчетов в проектном периоде, а также взаимодействие со справочниками (конструктивные параметры доменных печей, посуточная информация о работе доменных печей, справочник шихтовых материалов, справочник корректировочных коэффициентов).

Развертывание системы. Информационно-моделирующая система теплового режима доменной плавки развернута на сервере кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» с применением технологии контейнеризации посредством платформы Docker (Docker Compose).

Заключение. В результате реализации поставленной задачи разработана информационно-моделирующая система на основе трехзвенной клиент-серверной архитектуры, позволяющая проводить сопоставительную оценку теплового состояния верхней и нижней ступеней теплообмена доменной печи в базовом и проектном периоде при изменении параметров загружаемой шихты, расхода разных видов ЖРМ, флюсов, их свойств, а также параметров комбинированного дутья. Разработанное программное обеспечение предназначено для инженерно-технологического персонала доменных цехов металлургических предприятий, научных работников, занимающихся исследованием доменного процесса, а также может быть использовано в учебном процессе для проведения лабораторных и практических работ для студентов металлургических специальностей вузов.

Список использованных источников

1. Некоторые вопросы технологии, управления и диагностики доменной плавки: монография / А.В. Павлов, О.П. Онорин, Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, И.А. Гуринов; под общ. ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: АМК «День РА», 2023. – 282 с.
2. Теплофизические основы тепловой работы металлургических слоевых печей и агрегатов: учебное пособие / Ю.Г. Ярошенко, В.С. Швыдкий, Н.А. Спиринов, В.И. Матюхин, В.В. Лавров; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: АМК «День РА», 2019. – 464 с.
3. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спиринов, 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 с.
4. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки: монография / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, А.В. Краснобаев, О.П. Онорин, И.Е. Косаченко; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
5. Технология доменной плавки. Расчет технологического режима: учебное пособие / Л.Ю. Гилёва, С.А. Загайнов. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 54 с.
6. Примеры и задачи по технологии доменной плавки: учебное пособие / О.П. Онорин, Л.И. Каплун, И.А. Сергиенко, Ю.А. Леконцев. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. – 79 с.
7. Основы теории и технологии доменной плавки / А.Н. Дмитриев, Н.С. Шумаков, Л.И. Леонтьев, О.П. Онорин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 547 с.
8. Математическое моделирование доменного процесса / А.Н. Дмитриев, К. Чэнь, М.О. Золотых, Г.Ю. Витькина. – Екатеринбург: АМБ, 2023. – 232 с.
9. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664861. Информационно-моделирующая система расчета показателей теплового режима доменной плавки / П.Р. Шамсимухаметов, В.В. Лавров, И.А. Гуринов, Н.А. Спиринов. Заявл. № 2022663999 от 27.07.2022 г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 05.08.2022 (РФ).
10. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661070. Программный интерфейс (API) расчета показателей теплового состояния доменной печи / П.Р. Шамсимухаметов, В.В. Лавров, И.А. Гуринов, Н.А. Спиринов. Заявл. № 2023660523 от 24.05.2023 г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 29.05.2023 (РФ).
11. Лоре А. Проектирование веб-API. – М.: ДМК-Пресс, 2020. – 440 с.
12. Волкманн М. Svelte и Sapper в действии. – СПб.: Питер, 2022. – 496 с.