

5. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спири́н, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
6. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спири́н, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.
7. Компьютерные методы моделирования доменного процесса: монография / О.П. Онорин, Н.А. Спири́н, В.Л. Терентьев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
8. 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.
9. Designing APIs with Swagger and OpenAPI / Joshua S. Ponelat, Lukas L. Rosenstock // Manning Publications Co. 2022. – 426 p.
10. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666198. Программный интерфейс (API) расчета показателей газодинамического режима доменной печи / И.С. Уланов, В.В. Лавров, И.А. Гури́н, Н.А. Спири́н. Заявл. № 2023664158 от 06.07.2023 г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 26.07.2023 (РФ).

УДК 004.428.4:669.162.263

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

## **РАЗРАБОТКА ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЕКТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

***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 результаты её решения. Программное обеспечение, представляющее собой Web API (Application Programming Interface), реализованное на базе фреймворка ASP.NET Core, предназначено для оценки теплового состояния верхней и нижней ступеней теплообмена доменной печи в базовом и проектном периоде. Представлена архитектура построения программного обеспечения, описаны основные функциональные возможности.*

**Ключевые слова:** доменная плавка, тепловой режим, проектные показатели, Web API, ASP.NET Core.

**Abstract.** *A significant 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 software, which is a Web API (Application Programming Interface), implemented*

*based on the framework ASP.NET Core, is designed to assess the thermal state of the upper and lower stages of heat exchange of a blast furnace in the base and design period. The architecture of software construction is presented, the main functionality is described.*

**Key words:** *blast furnace melting, thermal regime, design indicators, Web API, ASP.NET Core.*

*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 [1-4].

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 многопользовательский веб-сервис в виде Web API на основе архитектурного стиля REST (Representation State Transfer), функционал которого позволит выполнить оценку теплового состояния верхней и нижней ступеней теплообмена (индекс низа, индекс верха, температуры горения и др.) в базовом и проектном периоде (не реализованном периоде) при изменении параметров загружаемой шихты, расхода разных видов ЖРМ, флюсов, их свойств, параметров комбинированного дутья.

*Реализация поставленной задачи.* Web API разрабатывался на языке программирования C# и базе фреймворка ASP.NET Core. Web API предназначен для создания гибких и масштабируемых веб-сервисов, которые могут быть использованы для обмена данными между различными приложениями и устройствами. REST API использует HTTP-протокол для обмена данными между клиентом и сервером. Клиент отправляет запрос на сервер, а сервер отправляет ответ в формате JSON. Архитектура веб-сервиса представлена на рисунке 1.

Основу Web API составляют шесть контроллеров, представленные на рисунке 2, каждый из которых предоставляет определенный функционал.

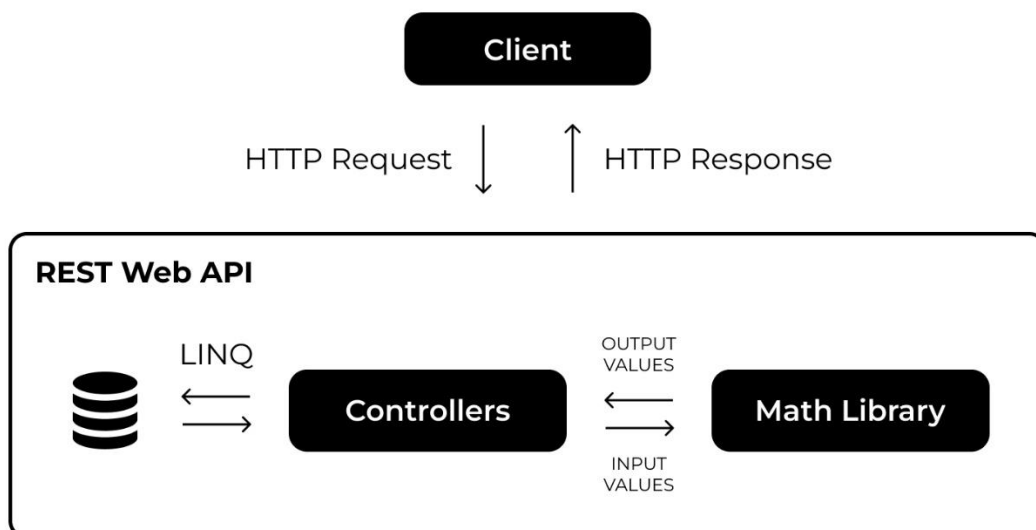


Рис. 1. Архитектура веб-сервиса

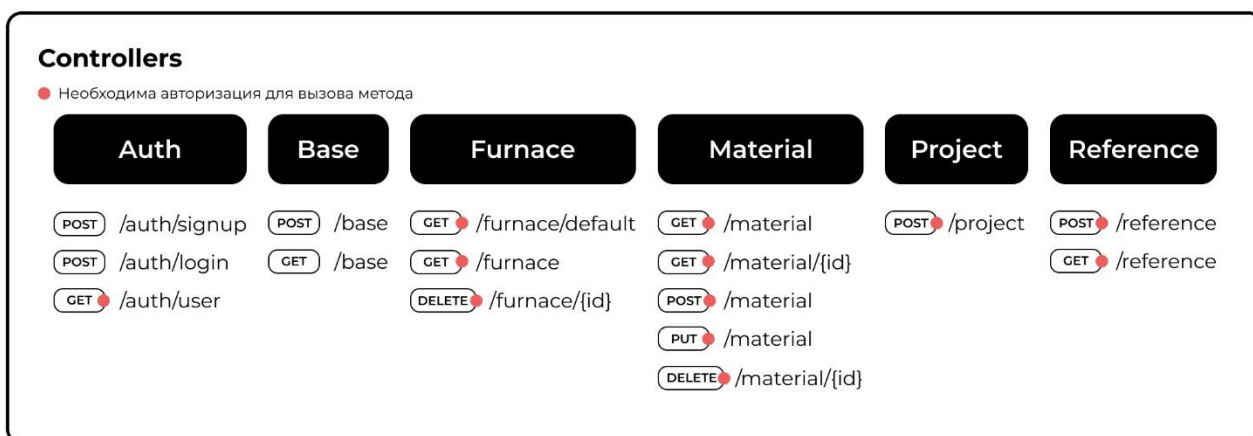


Рис. 2. Структура контроллеров Web API

Каждый контроллер содержит определённые методы или «эндпоинты», т.е. конечные точки веб-сервиса, которые могут быть запрошены клиентом по протоколу HTTP.

Контроллер «AuthController» отвечает за функционал аутентификации и авторизации пользователя в системе и содержит конечные точки, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Методы контроллера AuthController

| Метод | Путь             | Описание                        |
|-------|------------------|---------------------------------|
| POST  | /api/auth/signup | Создание аккаунта пользователя  |
| POST  | /api/auth/login  | Аутентификация пользователя     |
| GET   | /api/auth/user   | Получение данных о пользователе |

Контроллер «BaseController» отвечает за функционал расчета теплового режима доменной печи в базовом периоде и сравнении двух базовых периодов. Данный контроллер содержит конечные точки, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Методы контроллера BaseController

| Метод | Путь      | Описание   |
|-------|-----------|--|
| POST  | /api/base | Расчет теплового режима доменной печи в базовом периоде с возможностью сохранения варианта исходных данных |
| GET   | /api/base | Сравнение результатов расчета двух базовых периодов  |

Контроллер «FurnaceController» отвечает за функционал взаимодействия с сохраненными вариантами исходных данных и содержит конечные точки, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Методы контроллера FurnaceController

| Метод  | Путь                 | Описание  |
|--------|----------------------|---|
| GET    | /api/furnace         | Получение конкретного набора данных из варианта по идентификатору |
| GET    | /api/furnace/default | Получение варианта исходных данных по умолчанию                   |
| DELETE | /api/furnace/{id}    | Удаление варианта исходных данных                                 |

Контроллер «MaterialController» реализует методы управления справочником шихтовых материалов и содержит конечные точки, представленные в таблице 4.

Таблица 4

Методы контроллера MaterialController

| Метод  | Путь               | Описание                                    |
|--------|--------------------|---|
| GET    | /api/material      | Получение всех шихтовых материалов          |
| GET    | /api/material/{id} | Получение определённого шихтового материала |
| POST   | /api/material      | Добавление нового материала в справочник    |
| PUT    | /api/material      | Внесение изменений в справочник             |
| DELETE | /api/material/{id} | Удаление шихтового материала из справочника |

Контроллер «ProjectController» отвечает за расчет теплового состояния доменной печи в проектном периоде и содержит одну конечную точку, представленную в таблице 5.

Таблица 5

## Методы контроллера ProjectController

| Метод | Путь         | Описание   |
|-------|--------------|--|
| POST  | /api/project | Расчет теплового состояния доменной печи в проектном периоде |

Контроллер «ReferenceController» отвечает за функционал взаимодействия со справочником корректировочных коэффициентов в проектном периоде и содержит конечные точки, представленные в таблице 6.

Таблица 6

## Методы контроллера ReferenceController

| Метод | Путь           | Описание                                    |
|-------|----------------|---|
| GET   | /api/reference | Получение всех коэффициентов из справочника |
| PUT   | /api/reference | Внесение изменений в справочник             |

Для тестирования веб-сервиса использовался Swagger – инструмент для создания, документирования и тестирования API [5]. Данный инструмент позволяет разработчикам описывать структуру и функциональность своих API в формате OpenAPI (ранее известном как Swagger Specification), который является стандартом для описания REST API. Swagger также предоставляет пользовательский интерфейс для тестирования API, представленный на рисунке 3, который позволяет отправлять запросы и просматривать ответы в режиме реального времени, что значительно упрощает процесс разработки и отладки API.

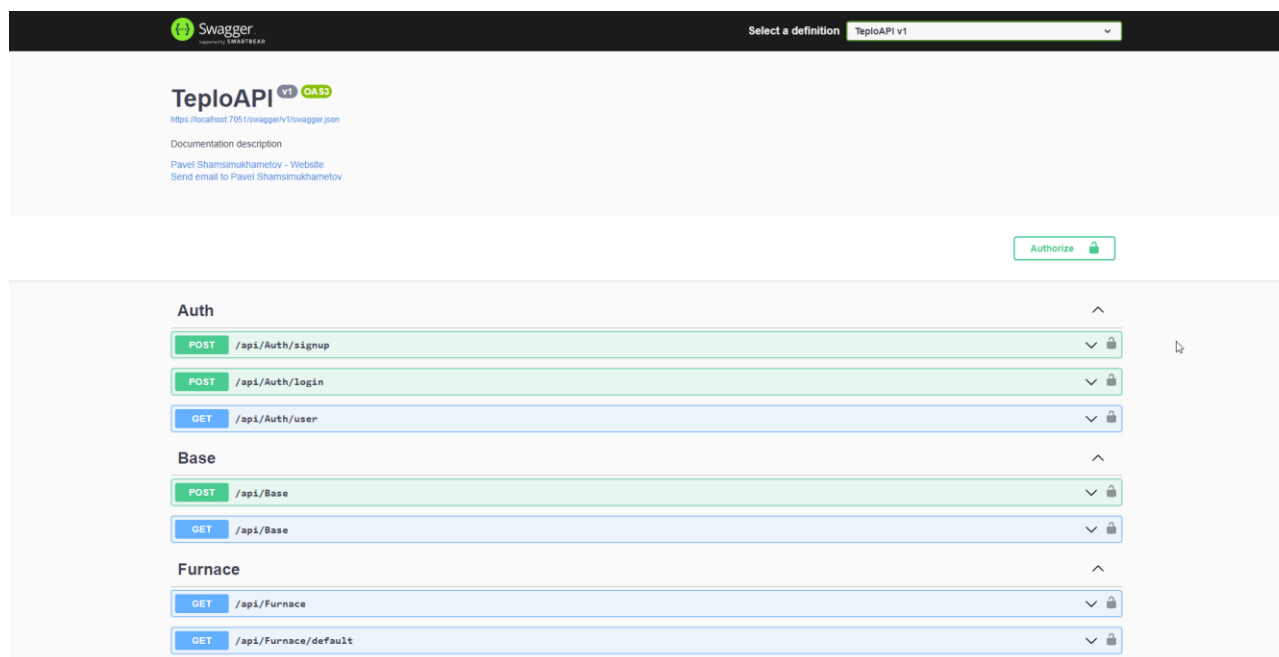


Рис. 3. Пользовательский интерфейс Swagger

**Заключение.** В результате реализации поставленной задачи был разработан многопользовательский веб-сервис «ТеплоAPI» [6], предоставляющий интер-

фейс REST Web API для использования функционала проведения оценки 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. В дальнейшем планируется расширение и совершенствование функциональных возможностей программного обеспечения.

### Список использованных источников

1. Технология доменной плавки. Расчет технологического режима: учебное пособие / Л.Ю. Гилёва, С.А. Загайнов. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 54 с.
2. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / 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.
3. 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.
4. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилёва, А.В. Краснобаев, В.С. Швыдкий, О.П. Онорин, К.А. Щипанов, А.А. Буркин; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.
5. Designing APIs with Swagger and OpenAPI / Joshua S. Ponelat, Lukas L. Rosenstock // Manning Publications Co. 2022. – 426 p.
6. 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).

УДК 621.771.261

**Д. С. Шишов, Е. И. Салихьянова, С. П. Куделин**  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЁТА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ШВЕЛЛЕРА

*Аннотация.* Сейчас разработанные методики по обработке металла давлением позволили реализовать автоматизированную систему расчёта и подбора формоизменения калибровки валков швеллера. Данная система предназначена для выбора оптимального формоизменения калибровки валков швеллера. Каждая из калибровок прокатных валков, применяемая при производстве различных профилей проката, имеет свои особенности по форме