

УДК 681.518.2

Б. Р. Саидмуродов, В. В. Лавров, И. А. Гурин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ХОЛОДИЛЬНИКОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Аннотация. Работа посвящена процессу разработки системы интеллектуального анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи, основными функциями которой являются: получение отчетных данных из базы данных доменного производства, отображение динамики изменения показателей в виде графических трендов и в числовой форме, формирование отчетов, прогнозирование теплового состояния системы охлаждения доменной печи с использованием средств машинного обучения. Рассмотрены этапы проектирования, функционального моделирования системы, разработка архитектуры системы, а также программная реализация прототипа. Основными пользователями системы является инженерно-технологический персонал доменного цеха.

Ключевые слова: доменная печь, система охлаждения доменной печи, программное обеспечение, функциональное моделирование, отчетные показатели, веб-приложение, машинное обучение, анализ данных.

Abstract. The work is devoted to the process of developing an intelligent system for analyzing the temperature of refrigerators in the blast furnace cooling system, the main functions of which are: obtaining reporting data from the database of blast furnace production, displaying the dynamics of changes in indicators in the form of graphical trends and in numerical form, generating reports, predicting the thermal state of the blast furnace cooling system ovens using machine learning tools. The stages of design, functional modeling of the system, as well as software implementation of the prototype are considered. The main users of the system are the engineering and technological personnel of the blast furnace shop.

Key words: blast furnace, blast furnace cooling system, software, functional modeling, reporting figures, web-application, machine learning, data analysis.

Введение. Доменная печь относится к числу плавильных металлургических агрегатов шахтного типа, внутреннее рабочее пространство которой ограничено огнеупорной футеровкой, предназначенной для защиты металлоконструкций печи от воздействия высоких температур и сохранения в течение длительного времени начальной геометрической формы рабочего пространства [1]. Одним из значимых факторов, влияющих на ограничение износа огнеупорной футеровки и увеличение продолжительности кампании печи, является непрерывный мониторинг состояния системы охлаждения доменной печи с использованием современных цифровых технологий [2].

Холодильники системы охлаждения доменной печи играют важную роль в производственном процессе, поскольку позволяет контролировать температуру, уменьшить риск аварийных ситуаций и продлить срок службы печи. Недостаточное охлаждение может привести к повреждению оборудования и снижению его производительности, а также к опасности для персонала.

Цель работы. Работа посвящена созданию системы интеллектуального анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи, основными функциями которой являются: получение данных с датчиков системы охлаждения, сохранение их в базе данных, отображение динамики изменения показателей в виде графических трендов и в числовой форме, анализ и прогнозирование работы системы охлаждения доменной печи с использованием средств машинного обучения, формирование отчетов. Основными пользователями системы является инженерно-технологический персонал доменного цеха.

Задачи. В процессе разработки системы решены следующие задачи:

- 1) выполнен анализ предметной области, изучена работа системы охлаждения доменной печи;
- 2) выбраны технологии и средства организации процесса разработки системы;
- 3) определены общие требования к системе и программные средства ее реализации;
- 4) спроектирована архитектура информационной системы;
- 5) разработаны функциональная модель, алгоритмическое и информационное обеспечения для программной реализации системы;
- 6) выполнено инфологическое и даталогическое моделирование базы данных с использованием CASE-средств, обеспечивающих эффективную организацию и сопровождение специализированного информационного и программного обеспечения системы, а также ее интеграцию в существующую информационную структуру металлургического предприятия;
- 7) разработано веб-приложение для отображения данных в графическом и табличном виде. Модуль прогнозирования температуры холодильников доменной печи выполнен с использованием алгоритма машинного обучения;
- 8) проведено тестирование и отладка программного обеспечения;
- 9) проведены контрольные испытания и оценка корректности результатов проведенных расчетов.

Требования к системе. Система должна обеспечивать возможность выполнения перечисленных ниже функций:

- доступ к показателям системы охлаждения на сервере базы данных;
- отображение на пользовательском интерфейсе полученных данных в виде таблиц и графических трендов;
- возможность поиска (фильтрации) данных пользователем;
- анализ и прогнозирование показателей системы охлаждения.

Архитектура системы [3]. При разработке системы использована трехуровневая архитектура информационной системы, основные компоненты которой представлены на рисунке 1.

Архитектура системы интеллектуального анализа системы охлаждения доменной печи включает в себя следующие уровни:

1. Уровень данных: уровень отвечает за сбор и хранение данных, необходимых для работы системы. Он включает в себя базу данных, хранилища данных и другие системы управления данными, в которых хранятся накопленные данные из системы АСУ ТП [4].

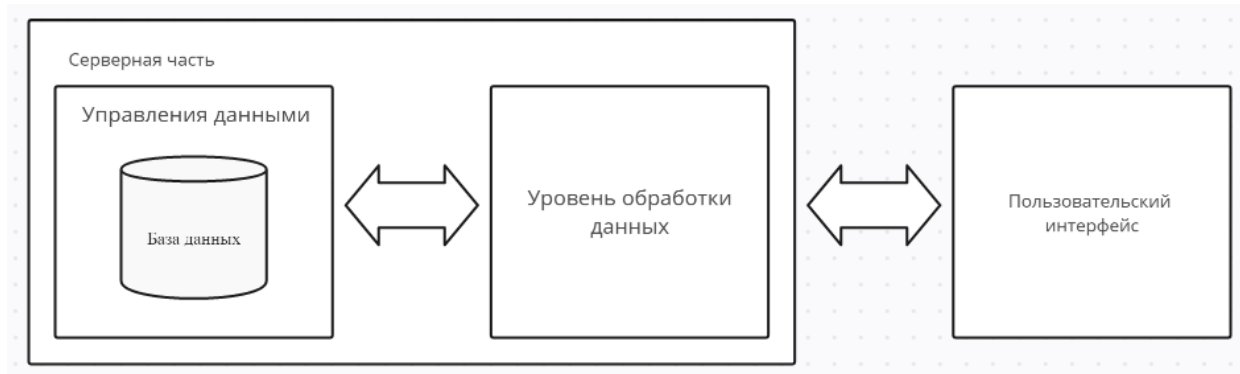


Рис. 1. Архитектура системы

2. Уровень обработки данных: на этом уровне данные обрабатываются с использованием различных методов анализа данных, таких как машинное обучение и статистические методы. Этот уровень может включать в себя различные библиотеки и фреймворки для обработки данных, такие как TensorFlow, Keras, PyTorch и др. Здесь данные обрабатываются для извлечения информации, обнаружения паттернов и решения задач, связанных с прогнозированием, классификацией, кластеризацией и другими задачами.

3. Уровень пользовательского интерфейса: на этом уровне данные и результаты обработки представляются в удобном для пользователя виде, с помощью различных приложений и интерфейсов. Этот уровень может включать в себя веб-приложения, мобильные приложения, десктопные приложения и другие приложения пользовательского интерфейса. Здесь пользователи могут взаимодействовать с системой, осуществлять фильтрацию данных, просматривать графики и другие визуализации данных, а также настраивать параметры системы.

Каждый уровень трехуровневой архитектуры может быть реализован независимо друг от друга, что облегчает разработку и обслуживание системы. Однако, чтобы система работала эффективно, необходимо обеспечить интеграцию между уровнями и правильную передачу данных и результатов обработки между ними.

Функциональное моделирование системы выполнено с помощью приложения Ramus Educational [5] на основе стандарта IDEF0 [6]. Фрагмент функциональной модели 1-го уровня представлен на рисунке 2. Функция «Сбор и первичная обработка данных» (A1) обеспечивает автоматическое наполнение системы данными. Сбор первичных данных производится в регламентированные моменты времени, установленные согласно требованиям инженерно-технологического персонала. Функция «Технологический отчет о работе агрегата» (A2) обеспечивает подготовку и формирование всех сведений о работе системы охлаждения доменной печи за указанный период. Функция «Визуализация данных» (A3) обеспечивает возможность построения графических трендов фактических и основных показателей работы системы охлаждения. Выбор показателей работы осуществляется на основе требований пользователей системы и блока нормативно-справочной информации. Функция «Сопоставитель-

ный анализ» (A4) обеспечивает возможность сравнения показателей работы печи за произвольно выбранные периоды. Источником данных этой функции являются сведения о работе системы охлаждения. Функция «Анализ и прогнозирование» (A5) позволяет проводить оценку и прогнозирование работы системы охлаждения на основе программных библиотек машинного обучения.

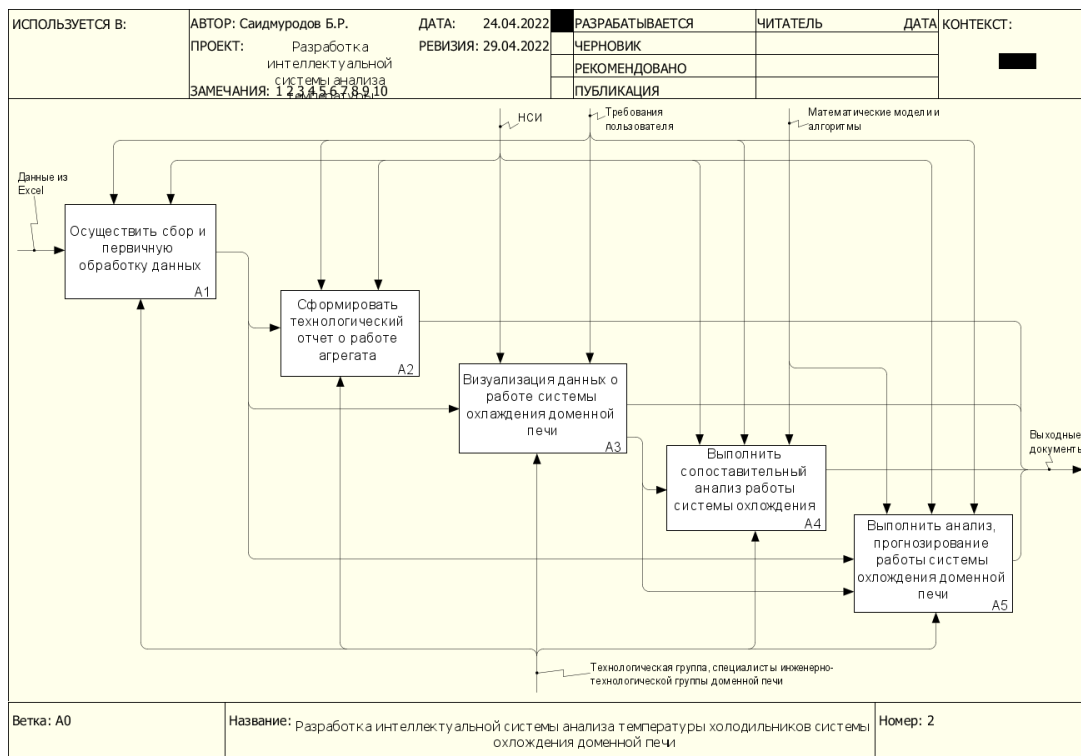


Рис. 2. Первый уровень декомпозиции функциональной модели системы интеллектуального анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи

Выбор технологии и средств организация процесса разработки системы. При создании программного продукта одной из наиболее важных задач является выбор средств реализации проекта [7]. Организация процесса разработки произведена на основе технологии Agile с использованием средств Azure DevOps (трекер задач), GitHub (репозиторий для хранения программного кода). Для реализации проекта выбраны среда разработки программного обеспечения Visual Studio Code, язык программирования Python [8], СУБД SQLite [9], библиотека Matplotlib для построения графиков различной сложности. Для анализа и обработки данных выбрана библиотека Pandas [10], в качестве веб-фреймворка – flask.

Спроектированная база данных содержит семь таблиц: tbPech (справочник печей), tbParams (измеряемые параметры), tbValuesAVGDay (усреднение данных по дням), tbValuesAVGMonth (усреднение данных по месяцам), tbValuesAVGHour (усреднение данных по часам), tbValuesAVGSmenaDC12 (усреднение данных по сменам DC12) и tbValuesAVGSmenaDC (усреднение данных по сменам). Схема базы данных представлена на рисунке 3.

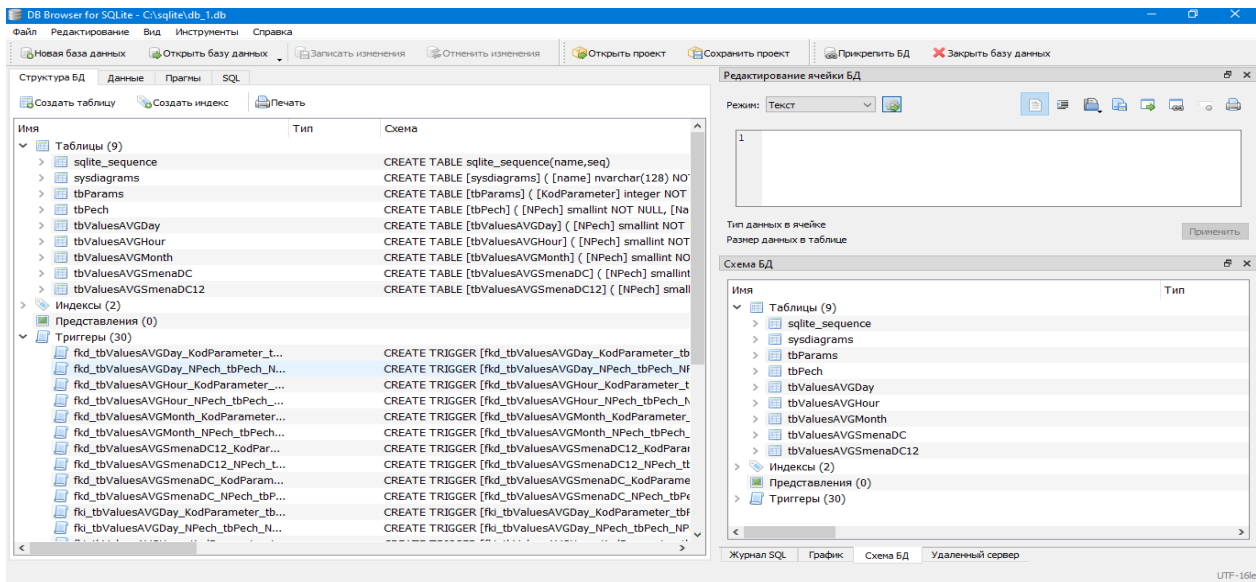


Рис. 3. Фрагмент структуры базы данных системы в СУБД SQLite

Веб-приложение для взаимодействия БД с пользователем. Разработанная программа позволяет пользователю просматривать данные в графическом, табличном виде, прогнозирования изменения температуры холодильника в доменной печи. Дополнительно добавлен ряд удобных функций, в частности, выбор периода для анализа, фильтрация по печам, параметрам и др.

Графический интерфейс веб-приложения состоит из трех веб-страниц. Главная веб-страница содержит себе следующие элементы (рис. 4):

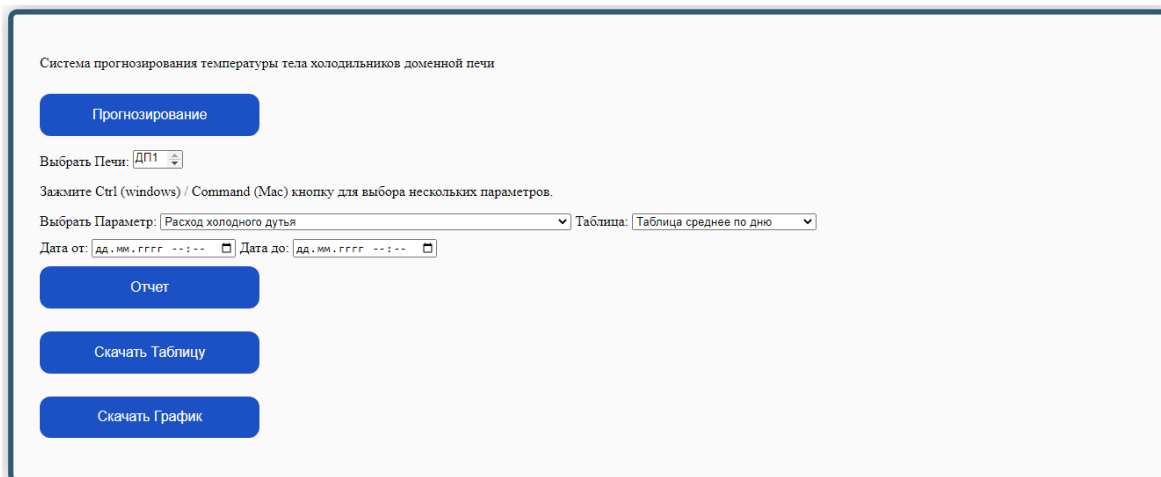


Рис. 4. Главная форма веб-приложения

- кнопку «Прогнозирование», нажатие на которую позволяет посмотреть прогнозирования выбранного параметра;
- поля для фильтрации данных, такие как: номер печи, выбор параметра, дата начала и конца и таблицу;
- кнопку «Отчет», нажатие на которую выводит на экран данные в графическом и табличном виде (рис. 5);
- кнопку «Скачать График», при нажатии на которую формируется отчет в виде jpg-файла;

– кнопку «Скачать Таблицу» при нажатии, которого формируется отчет в виде csv-файла.

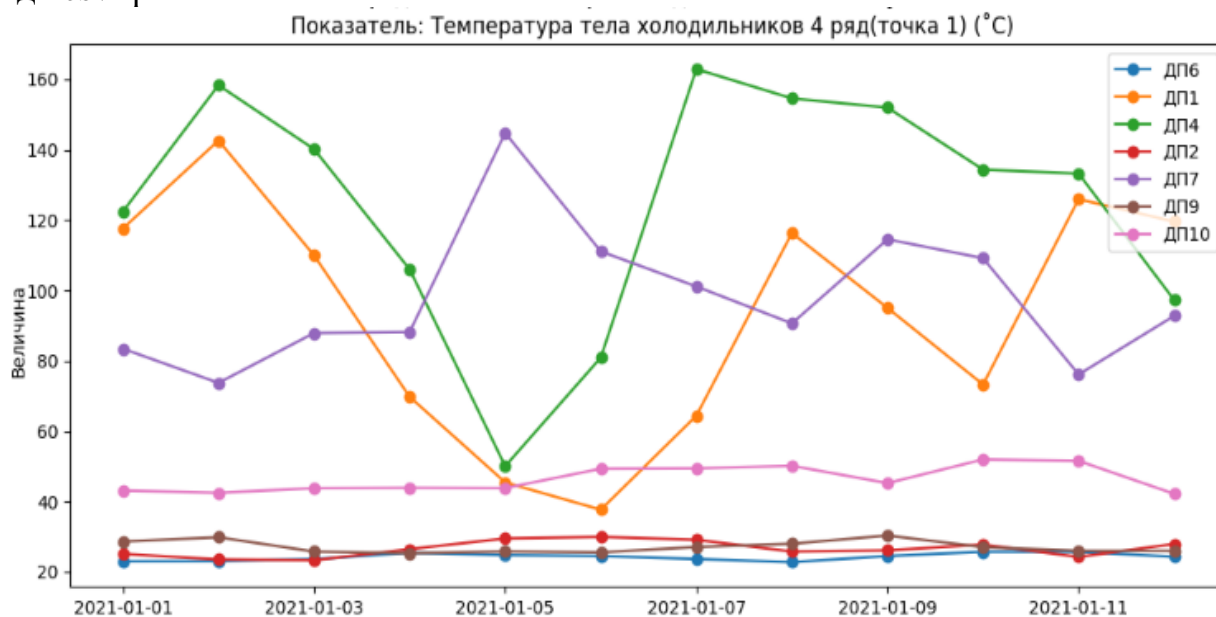


Рис. 5. Окно отображения изменения показателя системы охлаждения

Веб-страница «Прогнозирование» (рис. 6) содержит себе следующие элементы управления:

- поля фильтрации данных: выбор параметра, даты начала и окончания периода, а также таблица с результатами фильтрации;
- кнопка «Настройки», при нажатии на которую открывается вторая страница веб-приложения;
- кнопка «Показать», при нажатии на которую отображаются данные в графическом и табличном виде;
- выпадающий список, на котором есть выбор формата отображения результатов – график или таблица.

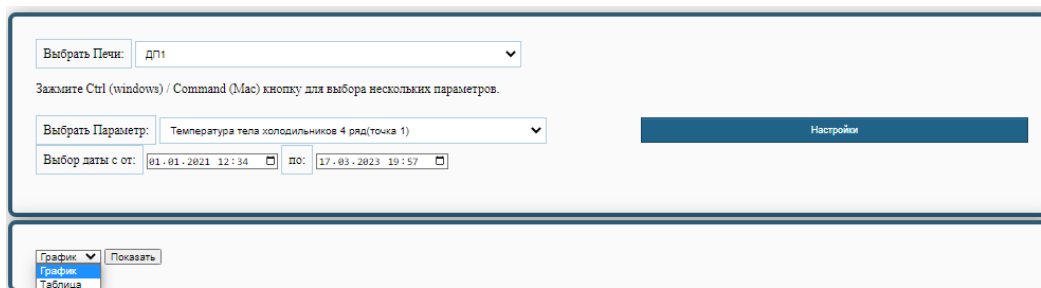


Рис. 6. Фрагмент страницы «Прогнозирование»

Страница «Настройки» содержит себе следующие элементы управления:

- выбор количества точек для обучения модели;
- выпадающий список с наименованиями таблицы, из которой выбираются усредненные данные.

На рисунке 7 представлен график изменения фактической и прогнозной величины температуры тела холодильников 4 ряд (точка б) за отдельный период работы доменной печи.

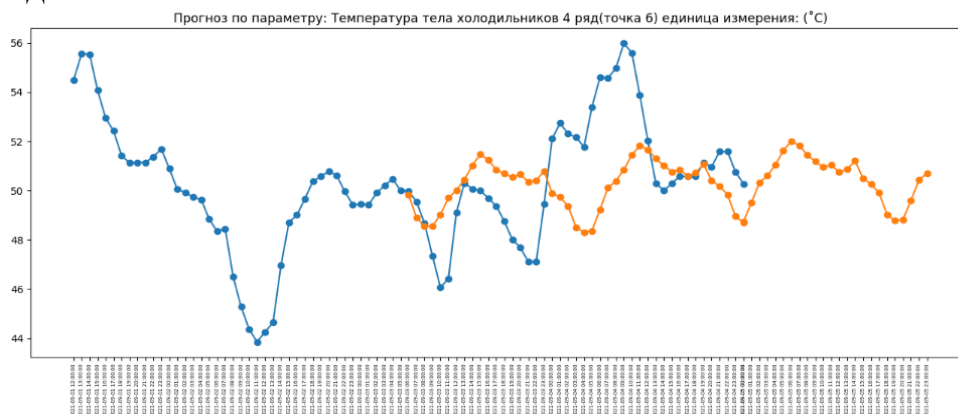


Рис. 7. Отображение фактической (синий цвет) и прогнозируемой (оранжевый цвет) величины температуры тела холодильников 4 ряд (точка б) за период работы доменной печи

Заключение. Таким образом, разработанное веб-приложение позволяет инженерно-технологическому персоналу доменного цеха отслеживать состояния холодильников доменной печи, провести оперативно анализ и прогнозирование работы холодильников в системе охлаждения доменной печи с использованием элементов машинного обучения. Создание системы позволит снизить трудозатраты персонала на сбор и обработку данных, необходимых для оперативного контроля теплового состояния холодильников, сокращения числа внеплановых остановок за счет принятия своевременных решений о необходимости ремонта/замены вышедших из строя элементов системы охлаждения доменной печи.

Список использованных источников

1. Устройство и проектирование доменных печей: учебное пособие / Л.И. Каплун, А.В. Малыгин, О.П. Онорин, А.В. Пархачев. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – 219 с.
2. Мониторинг состояния огнеупорной футеровки горна доменной печи на основе цифровых технологий / А.Н. Дмитриев, М.О. Золотых, Г.Ю. Витькина. – Екатеринбург: АМБ, 2022. – 156 с.
3. Архитектура интеллектуального анализа данных; 2013 – [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.education-wiki.com/2195841-data-mining-architecture> (дата обращения: 10.03.2023).
4. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
5. Попов А.И. Свободные инструменты проектирования информационных систем. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2014. – 78 с.
6. Госстандарт России. Методология функционального моделирования IDEF0. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000. – 75 с.

7. Основы информационных технологий: учебное пособие / С.В. Назаров [и др.]. – М., Саратов: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. – 530 с. – ISBN 978-5-4497-0339-2. – Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/89454.html>.

8. Лутц М. Изучаем Python. Т. 1. – М.: «Диалектика», 2019. – 832 с.; Т. 2. – М.: «Диалектика», 2020. – 720 с.

9. СУБД SQLite. Электронный ресурс. – URL: https://younglinux.info/sqlite/sqlite_

10. Документация pandas. Электронный ресурс. – URL: <https://pandas.pydata.org/docs/>

УДК 65.011.56

А. А. Старостин, В. Н. Трегубов, К. Ю. Царьков

НЧОУ ВПО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма, Россия

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАЗЛИВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС ЧЕРНОВОЙ МЕДИ ОТДЕЛЕНИЯ КОНВЕРТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЦЕХА АО «СВЯТОГОР» НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ 370 ТОНН В СУТКИ

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы действующей технологии розлива черновой меди на предприятии АО «Святогор» и разработка мероприятия по совершенствованию технологии розлива черновой меди, с учетом повышения производительности труда и увеличения степени автоматизации процесса розлива, накопления и передачи данных в информационной сети предприятия.

Ключевые слова: система автоматизации, металлургическое производство, накопление и передача данных, учет ресурсов, диспетчеризация предприятия.

Abstract. This article discusses the problems of the current technology of bottling blister copper at "Svyatogor" and the development of measures to improve the technology of bottling blister copper, taking into account the increase in labor productivity and an increase in the degree of automation of the process of pouring copper, the accumulation and transmission of data in the information network of the enterprise.

Key words: automation system, metallurgical production, data accumulation and transmission, resource accounting, enterprise dispatching.

Металлургический цех АО «Святогор» выпускает черновую медь, содержащую драгметаллы, сернистый газ, получаемый при обжиге шихты и конвертировании, который направляется на производство серной кислоты. На сегодняшний день АО «Святогор» производит до 82,5 тыс. т черновой меди в год. В настоящее время на предприятии проводится реконструкция химико-металлургического комплекса с внедрением технологии «Ausmelt». Реконструкция с внедрением технологии «Ausmelt» предусматривает строительство нового металлургического комплекса – плавильной печи «Ausmelt» с котлом