

Код Arduino скетчей и jupyternotebook файл обработки данных и обучения модели доступны в GitHub репозитории [7].

### Список использованных источников

1. Радзишевский А.Ю. Основы аналогового и цифрового звука. – М.: Вильямс, 2006. – 288 с.
2. Микроконтроллер STM32F103C8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>.
3. Микроконтроллер Arduino Pro mini [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-pro-mini>.
4. Arduino for STM32 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stm32duino.com>.
5. Schoelkopf B., Smola A.J., Mueller K.-R. Kernel principal component analysis. In Advances in kernel methods // MIT Press. Cambridge. MA. USA. 1999. Pp. 327-352.
6. Zou H, Hastie T. Regularization and variable selection via the Elastic Net // Journal of the Royal Statistical Society. 2005. Series B. V.67. Pp. 301-320.
7. GitHub репозиторий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/aisiaz/stm32duinoHumidityProjectData>.

УДК 004.94

**Д. А. Чащина, А. А. Першин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

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

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПО РАСЧЕТУ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА АНОДНОЙ ПЕЧИ

### Аннотация

*Представлено описание информационно-моделирующей системы, основной функцией которой является расчет теплового баланса анодной печи. Основными входными данными системы являются: химическое тепло горения топлива и неполного горения газа, физическое тепло подогретого воздуха и экзотермических реакций, полезное тепло, тепло со шлаком, потери тепла в окружающее пространство, потери с дымовыми газами и с охлаждающей водой. Отражены основные этапы разработки программного обеспечения: постановка задачи, реализация тестового варианта расчета и проверки методики расчета в электронных таблицах Microsoft Excel; разработка архитектуры информационной системы; проектирование, реализация программного средства (математической библиотеки и пользовательского интерфейса); обработка исключительных ситуаций в программе; разработка системы автоматизированного тестирования для проверки корректности расчетов; создание справочной документации; подготовка дистрибутива; формирование отчета с результатами расчета с возможностью его предварительного просмотра и экспорта во внешние форматы.*

**Ключевые слова:** тепловой баланс, анодная печь, моделирование, программное обеспечение, архитектура, интерфейс, математическая библиотека.

#### Abstract

The description of the information-modeling system is presented, the main function of which is the calculation of the heat balance of the anode furnace. The main input data of the system are: chemical heat of combustion of fuel and incomplete combustion of gas, physical heat of heated air and exothermic reactions, useful heat, heat with slag, heat loss to the surrounding space, losses with flue gases and cooling water. The main stages of software development are reflected: statement of the task, implementation of the test version of calculation and verification of the calculation methodology in Microsoft Excel spreadsheets; development of information system architecture; design, implementation of software (mathematical library and user interface); exception handling in the program; the development of an automated testing system to verify the correctness of calculations; creation of reference documentation; preparation of the distribution; Forming a report with calculation results with the possibility of previewing it and exporting it to external formats.

**Key words:** heat balance, anode furnace, programming, modeling, software, architecture, interface, mathematical library.

*Введение.* Медеплавильный цех специализируется на переработке медьсодержащего сырья (черновой меди и медного лома), которое подвергается огневому рафинированию в отражательных печах. Основным продуктом – аноды медные, поступают на электролитическое рафинирование в цех электролиза меди. Разливочный комплекс позволяет одновременно выпускать аноды двух типов: для производства катодов по основной и безосновой технологиям. Главным фактором, определяющим выбор конструкции печи, является технология производства или обработки материала. При этом необходимо строго следовать параметрам технологического процесса, который определяется: тепло-массообменом, движением сред, физико-химическими процессами. Все вышеперечисленные процессы называют тепловой работой печи (агрегата).

Для контролирования и регулирования работы агрегата используют характеризующие параметры (показатели). Показатели тепловой работы позволяют выявлять недостатки в работе и предлагать пути (мероприятия), направленные на улучшение тепловой работы [1].

*Физическая постановка задачи.* Целью составления теплового баланса печи является определение количества топлива, необходимого для проведения технологического процесса. Тепловой баланс печи заключается в равенстве количества теплоты, поступающей в рабочее пространство печи и удаляемой из него за единицу времени для непрерывно действующих печей или за всю операцию (или отдельный период) для печей периодического действия [2, 3].

Основными входными данными при построении теплового баланса являются периоды загрузки, плавления, окисления, восстановления, разгрузки; расход природного газа; температура подогретого воздуха; масса и температура шлака; потери тепла через основные конструктивные элементы и др.

Уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} B(Q_H^P + q_T + q_B)\tau + Q'_1 + Q'_{\text{доп}} = \\ = Q''_1 + B(q_2 + q_3 + q_4)\tau + Q_5 + Q_6 + Q''_{\text{доп}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $B$  – расход топлива, кг/с;

$Q_H^P$  – низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг;

$q_T$  – количество физической теплоты, вносимой единицей топлива, кДж/кг  
 $q_B$  – количество физической теплоты, вносимой воздухом, расходуемым на сжигание единицы топлива, кДж/кг;

$\tau$  – промежуток времени, для которого составляется тепловой баланс, с;

$Q'_1$  – количество физической теплоты, вносимой технологическим материалом в рабочее пространство печи, и тепловой эффект экзотермических реакций и фазовых превращений, Дж;

$Q'_{\text{доп}}$  – дополнительные, не учтенные в предшествующих статьях поступления теплоты, Дж;

$Q''_1$  – энтальпия технологических продуктов при выдаче их из печи, включая физическую теплоту и тепловой эффект эндотермических реакций и фазовых превращений, Дж;

$q_2$  – количество физической теплоты отходящих газов в объеме, приходящемся на единицу топлива, Дж/кг;

$q_3$  – количество теплоты, теряемой вследствие механического недожога на единицу топлива, Дж/кг;

$q_4$  – количество теплоты, отдаваемой в окружающую среду, Дж;

$Q''_{\text{доп}}$  – потери теплоты, не учтенные в предшествующих статьях, Дж.

Для расчета применяются методы математического моделирования, что позволяет решать следующие задачи:

- определение химического тепла неполного горения газа;
- определение физического тепла подогретого воздуха и экзотермических реакций;
- определение теплоты на нагрев твердой меди, на плавление меди, на перегрев жидкой меди;
- определение полезного тепла;
- определение потерь теплоты со шлаком, с дымовыми газами при горении, с дымом в период окисления и восстановления;
- определение потерь теплоты через лещады и свод;
- определение потерь теплоты с охлаждающей водой.

*Проектирование и реализация программного обеспечения.*

*Разработка архитектуры системы.* В процессе решения поставленной задачи спроектирована архитектура информационной системы (рис. 1).

Архитектура ИС – это структура программы или вычислительной системы, определяющая ее работу на самом высоком концептуальном уровне, включая аппаратные и программные компоненты, видимые снаружи свойства этих компонентов, отношения между ними, а также документирование системы [4].

Основными компонентами программного обеспечения являются: математическая библиотека в виде dll-файла и графический пользовательский интерфейс [5]. Математическая библиотека реализована в проекте библиотеки классов на языке программирования C# в среде разработки Visual Studio. Алгоритм расчета в математической библиотеке реализуется на основе Excel-файла, DFD-диаграмм и спецификации.

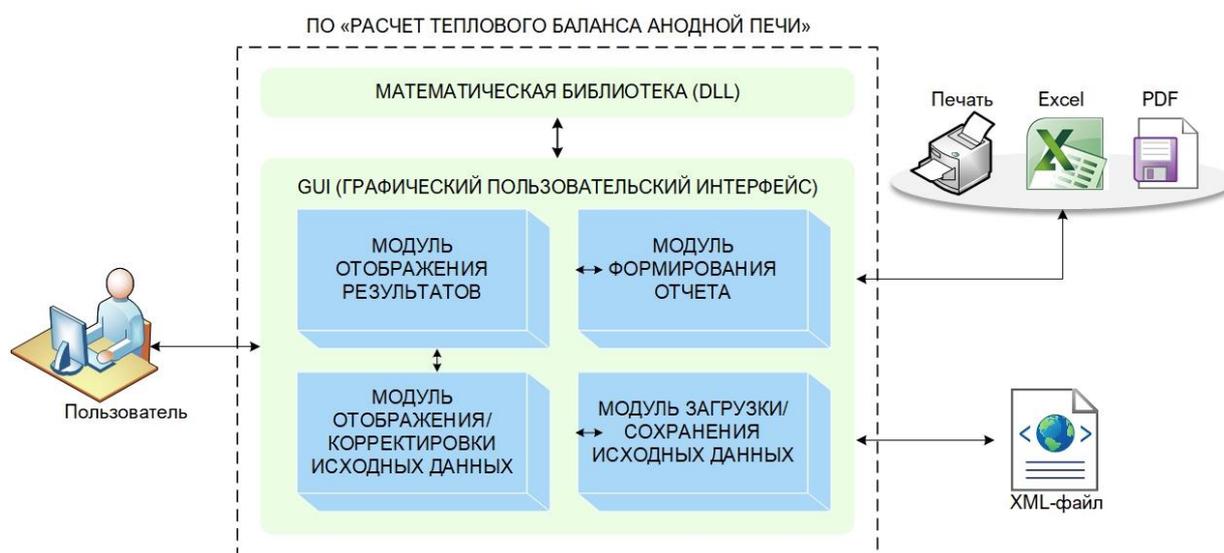


Рис. 1. Архитектура программного обеспечения  
«Расчет теплового баланса анодной печи»

*Разработка блок-схемы работы пользователя с программой.* Блок-схема – графическое представление алгоритма. Она состоит из функциональных блоков, которые выполняют различные назначения (ввод/вывод, начало/конец, вызов функции и т.д.).

Пользователь запускает программу. Далее программа предоставляет возможность выбрать тип решаемой задачи. После ввода определённых параметров, пользователь может рассчитать нужные величины. Далее ему выдаётся результат расчётов в текстовом и графическом виде.

*Реализация пользовательского интерфейса.* Пользовательский интерфейс – это набор программных и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие пользователя с компьютером. Основу такого взаимодействия составляют диалоги. Под диалогом в данном случае понимают регламентированный обмен информацией между человеком и компьютером, осуществляемый в реальном масштабе времени и направленный на совместное решение конкретной задачи.

Пользовательский интерфейс включает три основных компонента:

- взаимодействие приложения с пользователем;
- взаимодействие пользователя с приложением;
- язык общения – определяет разработчик программного обеспечения.

Реализация пользовательского интерфейса выполнена на языке программирования C# на базе проекта Windows Forms.

*Разработка системы автоматизированного тестирования математической библиотеки.* Автоматизация тестирования – это использование программного обеспечения для выполнения или поддержки тестирования, тест-дизайна, выполнения тестов, анализа результатов выполнения тестов и т.д. Автоматизированное тестирование включает не только выполнение автоматических тестов, а еще написание и использование скриптов для анализа результатов, а также подготовки тестовых данных, т.е. автоматизация всех рутинных и повторяющихся задач для облегчения процесса тестирования.

Для того, чтобы автоматически протестировать, код написанный на С#, в первую очередь необходимо создать проект модульного теста. Модульное тестирование (или Unit-тестирование) предназначено для проверки правильности выполнения небольшого блока кода, решающего свою конкретную задачу [4, 5].

*Описание программного обеспечения.* В программном продукте реализованы следующие функциональные возможности:

- загрузка и сохранение исходных данных;
- корректировка введённых исходных данных;
- отображение результатов в численном и графическом вариантах;
- формирование отчета для экспорта во внешние форматы PDF, Microsoft Excel или на печать;
- возможность просмотра методических материалов.

На рисунке 2 представлена главная форма пользовательского интерфейса с результатами расчета теплового баланса.

Результаты расчетов программы:

- расчет приходных статей теплового баланса анодной печи;
- расчет расходных статей теплового баланса анодной печи;
- расчет теплового баланса для всего процесса в целом.

Программа предоставляет возможность предварительного просмотра отчета и экспорта во внешние форматы с помощью элемента управления ReportViewer. Этот элемент управления включает возможности обработки и просмотра отчетов непосредственно в приложении.



Рис. 2. Пользовательский интерфейс

*Выводы.* Спроектирована и разработана информационно-моделирующая система для расчета теплового баланса анодной печи. Она предназначена для расчета приходных и расходных статей теплоты, а также для определения количества топлива, необходимого для проведения технологического процесса.

### Список использованных источников

1. Тепломассоперенос: учебник для студентов вузов / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – М.: «Академкнига», 2002. – 455 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
3. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учебное пособие / Под ред. А.С. Телегина. – М.: Металлургия, 1993. – 528 с.
4. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения: учеб. / С.А. Орлов. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.
5. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C#. – СПб.: Питер, 2012. – 928 с.

УДК 681.532.1

**Ю. Н. Чесноков<sup>1</sup>, В. Г. Лисиенко<sup>1</sup>, А. В. Лаптева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург, Россия

## СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫХОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ С ГИДРОЦИЛИНДРОМ

### Аннотация

*Дробление рудных материалов перед их дальнейшим использованием является необходимым элементом современных металлургических технологий. По мере износа брони на конусах дробилки происходит изменение размера ее рабочей щели. Это приводит к изменению гранулометрического состава дробленого материала. Существуют конусные дробилки, у которых размер рабочей щели регулируется перемещением нижнего конуса по вертикали с помощью гидроцилиндра. Для таких дробилок можно построить систему регулирования рабочей щели, а значит и гранулометрического состава, с применением бесконтактного гранулометра. В статье описана такая система регулирования.*

**Ключевые слова:** металлургические технологии, конусная дробилка, инерционная дробилка, гидроцилиндр, руда, гранулометрический состав, автоматическая система регулирования, Simulink.

### Abstract

*Crushing of ore materials before their further use is necessary element of modern metallurgical*