

3. Results of a pilot experiment-study with continuous monitoring of the atmosphere over an industrial enterprise / O.S. Logunova, V.V. Kabanova, Yu.V. Kocherzhinskaya, Sh.N. Ataulayev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of Food Security", Воронеж, 21–22 февраля 2022 года. Vol. 1043. – Воронеж: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012008. – DOI 10.1088/1755-1315/1043/1/012008. – EDN ACBMYE.

4. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы / М.Ю. Наркевич, О.С. Логунова, М.Б. Аркулис [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2022. – № 5(110). – С. 29-48. – DOI 10.23859/1994-0637-2022-5-110-3. – EDN ELUMKD.

5. Zhang, Wenyu & Zhang, Zhenjiang & Qi, Dapeng & Liu, Yun. (2014). Automatic Crack Detection and Classification Method for Subway Tunnel Safety Monitoring. Sensors (Basel, Switzerland). 14. 19307-19328. 10.3390/s141019307.

6. Liu, Yahui & Yao, Jian & Lu, Xiaohu & Xie, Renping & Li, Li. (2019). DeepCrack: A Deep Hierarchical Feature Learning Architecture for Crack Segmentation. Neurocomputing. 338. 139-153. 10.1016/j.neucom.2019.01.036.

УДК 004.42

**В. С. Калинин, К. А. Щипанов**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

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

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА КОНВЕЙЕРНОЙ СУШИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

**Аннотация.** В статье рассматривается программное обеспечение, которое поможет автоматизировать процесс расчета оптимального теплового баланса конвейерной сушильной печи.

**Ключевые слова:** автоматизация, тепловой баланс, сушильный агрегат, конвейерная сушильная печь, программное обеспечение.

**Abstract.** The article discusses software that will help automate the process of calculating the optimal heat balance of a conveyor drying oven.

**Key words:** automation, heat balance, drying unit, conveyor drying oven, software.

### *Описание агрегата*

Конвейерные сушильные печи относятся к методическим сушильным печам. Эти печи могут иметь большую протяженность, и сушильный агент в них движется перпендикулярно поперечному сечению печного канала, параллельно, или против движения сушимого материала. Поэтому сколько-нибудь существенной циркуляции газов в рабочем пространстве не требуется [2].

Сушильные печи применяют в литейных цехах машиностроительных и металлургических заводов для сушки исходных формовочных материалов и изготавливаемых из них форм и стержней. Своеобразие сушильных печей, как объектов теплотехнических расчетов заключается в том, что в прослушиваемых материалах протекают сложные процессы диффузии капельной влаги, ее испарения и последующей диффузии пара, которые обуславливают резкую неоднородность таких физических свойств, как удельная теплоемкость и теплопроводность. По указанным причинам имеющиеся в настоящее время уравнения теплопроводности весьма сложны и неприменимы в инженерных расчетах, а следовательно, невозможен и расчет неразрывно связанного с теплопроводностью процесса теплообмена [5].

Разработанное ПО позволит автоматизировать процесс расчета оптимального теплового баланса конвейерной сушильной печи, т.к. это одна из главных составляющих повышенного КПД и эффективности работы агрегата, рассчитывать показатели в численном и графическом виде, создавать на основе расчетов отчет и экспортировать его в формат PDF. Правильный тепловой баланс в установке, позволяет свести к минимуму тепловые потери, а в следствии, увеличить экономическую выгоду. Также, правильный тепловой баланс печи позволяет продлить срок ее службы, что тоже немаловажно в крупном производстве.

#### *Основные этапы разработки*

Проектирование ПО начинается с функционального моделирования. Функциональная модель помогает визуализировать структуру программы и состоит из следующих ключевых блоков: процессы, связанные с операциями над исходными данными (загрузка, редактирование, сохранение), процессы расчета, формирования и отображения отчета.

Математическая модель задачи строится на основе методики расчета теплового баланса сушильных печей. Исходными данными для расчета являются параметры загружаемого материала, особенности конструкции печи, табличные величины и температуры газов и поверхностей. Правильность модели проверяется с помощью Microsoft Office Excel.

Разработана математическая библиотека на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2022. Она представляет из себя динамически подгружаемую библиотеку dll. В нее закладывается весь математический аппарат, реализованный в данном программном продукте.

Тестирование математической библиотеки. Для этого использовалось средство тестирования модулей NUnit, в котором можно создавать тесты для библиотек, разрабатываемых на платформе .NET Framework [4]. Для осуществления тестирования в библиотеке создаются классы. Через графическую оболочку NUnit производится запуск тестов и просмотр результатов.

Программный интерфейс, с которым непосредственно взаимодействует пользователь, разработан в виде отдельного самостоятельного MVC проекта. Далее к нему подключается динамическая библиотека и собирается общий проект. Также добавлен API-сервер, который действует как точка входа для клиентов и отправки запросов. Преимущество данного подхода заключается в возможности модернизации алгоритма расчета, исправления в нем недоработок

или неточностей без перекомпиляции программы путем обновления файла математической библиотеки dll. На рис. 1 изображено окно интерфейса программы с вводом нового варианта исходных данных. На рис. 2 изображено окно программы с рассчитанными показателями теплового баланса [3].

ConvVake Главная Расчеты Вадим ▾

### Исходные данные

Введите название  Введите описание

Наименование показателя, ед. изм.	Величина
Производительность печи по сухому материалу, кг/с	<input type="text" value="0,35"/>
Начальная влажность стержней, %	<input type="text" value="5,5"/>
Конечная влажность стержней, %	<input type="text" value="0,5"/>
Максимальная температура сушки, °C	<input type="text" value="350"/>
Температура отходящих газов, °C	<input type="text" value="290"/>
Коэффициент расхода воздуха	<input type="text" value="1,1"/>
Пирометрический коэффициент	<input type="text" value="0,9"/>
Начальная температура, °C	<input type="text" value="350"/>

Рис. 1. Ввод исходных данных

ConvVake Главная Расчеты Вадим ▾

[Сформировать отчет](#)

### Расчетные показатели

#### Расчет горения топлива

Выходной параметр, ед. изм.	Величина
Расход кислорода на горение, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1,99
Теоретический расход сухого воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	9,47
Действительный расход сухого воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	10,42
Объем продуктов сгорания, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	11,43
Низшая теплота сгорания топлива, кДж/м <sup>3</sup>	35611,4
Балансовая энтальпия дымовых газов, кДж/м <sup>3</sup>	3142,53
Количество избыточного воздуха в продуктах сгорания, %	8,29
Действительная энтальпия продуктов горения факела, кДж/м <sup>3</sup>	2828,28
Действительная температура продуктов горения факела, °C	1644,08

#### Расчет газодинамического режима

Выходной параметр, ед. изм.	Величина
Энтальпия продуктов горения выходящих из топки, кДж/м <sup>3</sup>	504,6
Энтальпия рециркулята входящего в топку, кДж/м <sup>3</sup>	355
Количество рециркулята, добавляемое на 1 м <sup>3</sup> первичных продуктов сгорания, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	15,53

Рис. 2 Расчетные показатели теплового баланса

### Алгоритм расчета

В разработанной математической библиотеке реализованы поля и свойства в соответствии с каждым исходным и расчетным значениями. Поля и свойства имеют разные модификаторы доступа, т.к. могут использоваться не только в пределах математической библиотеки. Для удобства конечному пользователю каждой исходной величине присвоено значение, что бы можно было сразу увидеть и просмотреть рассчитанные величины. Каждый раз при расчете нового

или существующего варианта, идет обращение к dll-файлу математической библиотеки.

#### *Заключение*

Разработанное программное обеспечение позволяет быстро и без больших трудозатрат решить задачу расчета теплового баланса конвейерной сушильной печи. Таким образом, заложенная в начале этапа проектирования функциональность была достигнута. Основными пользователями программного обеспечения являются инженеры, контролирующие данные печи, преподаватели и студенты учебных заведений.

### **Список использованных источников**

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учебник для студентов вузов / Я.М. Гордон, Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев [и др.]; издание 3-е. – М.: Металлургия, 1993. – 368 с.
2. Мاستрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей. – М.: Металлургия, 1972. – 368 с.
3. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии. СПб.: Питер, 1997. – 460 с.
4. Гамма Э., Хелм Р. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования: пер. с англ. – СПб.: Питер, 2007. – 366 с.
5. Конвейерная сушилка, принцип работы и область применения [Электронный ресурс]: <https://studfile.net/preview/16481103/page:6/>. – Дата обращения 07.05.2023.

УДК 681.518

**Г. А. Кулюшин<sup>1,2</sup>, В. В. Грачев<sup>1,2</sup>, Д. С. Аниканов<sup>3</sup>, Д. Е. Коровин<sup>1,2</sup>,  
Е. В. Курышев<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»,  
г. Новокузнецк, Россия;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия;

<sup>3</sup> ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

### **СОЗДАНИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ АСУ ТП ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ ПОЛИМЕТАЛЛОВ «РУБЦОВСКАЯ»**

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы разработки инфокоммуникационной сети автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) обогатительной фабрики (ОФ) полиметаллов «Рубцовская» (п. Потеряевка, Алтайский край). Приведена укрупненная физическая топология инфокоммуникационной сети ОФ «Рубцовская», детально представлена структура технических средств АСУ ТП нового главного корпуса. Техническая реализация инфокоммуникационной сети АСУ ТП ОФ «Рубцовская»