

3. Применение САПР режимов горячей прокатки широких полос для прогнозирования изменчивости показателей качества и технологических параметров процесса / М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, А.О. Попов, А.Г. Ветренко // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. труд. Часть II. Липецк: изд-во ЛГТУ, 2012. С. 40–47.

4. Разработка и опыт применения программы автоматизированного проектирования технологий горячей прокатки высокопрочной широкополосной стали для автомобилестроения на станах различных типов / М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, А.О. Попов [и др.] // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. труд. Часть II. Липецк: изд-во ЛГТУ, 2011. С. 56–62.

5. Румянцев М. И., Галкин В. В., Горбунов А.В. Разработка технологии и режимов прокатки высокопрочных сталей для автомобилестроения на широкополосном стане горячей прокатки // Тр. VIII Конгресса прокатчиков. Т. 1. Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2010. С. 35–45.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ МНОГОСЛОЙНУЮ СТЕНКУ

Свиткин В.Г., Швыдкий В.С.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

При проектировании металлургических печей часто возникает задача определения тепловых потерь печные ограждения. Минимизация тепловых потерь способствует экономии топлива и электроэнергии, снижает себестоимость продукции. Кроме того, для правильного выбора материалов при конструировании печи необходимо знать температурное поле в стенке, с целью соблюдения ограничений на рабочую температуру материалов. Поэтому при проектировании печи инженер должен просчитать несколько вариантов конструкции стенки и выбрать из них наилучший. В связи с этим целесообразна разработка специализированного программного продукта для решения этих задач.

Задача расчета потерь теплоты через плоскую многослойную стенку состоит в следующем. Для каждого слоя известны толщина и функция зависимости коэффициента теплопроводности материала от температуры. Также известны температура окружающей среды, степень черноты внешней поверхности, температура в рабочем пространстве печи, коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки к печным газам и общая площадь поверхности стенки. Требуется построить температурное поле в стенке и найти величину тепловых потерь в единицу времени.

Математическая модель задачи строится на основе инженерной методики расчета потерь теплоты через печные ограждения [1]. Суть расчета состоит в определении теплового потока через стенку при стационарном режиме с граничными условиями III рода. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки рассчитывается как сумма конвективной и лучистой составляющих. При расчете учитывается зависимость коэффициента теплопроводности материала слоев от температуры. Расчет осуществляется методом последовательных приближений. Сначала задается произвольное температурное поле, на основе которого рассчитываются значения тепловых сопротивлений и приближение плотности теплового потока. С учетом полученного значения плотности теплового потока вычисляется новое температурное поле, а затем – уточненное значение плотности теплового потока. Итерационный процесс прекращается, когда достигнута заданная точность.

Для разработки программного обеспечения (ПО) использовалась среда разработки Microsoft Visual Studio 2010 Express и язык программирования C# [2]. Архитектура ПО (рис. 1) включает математическую библиотеку, модуль графического интерфейса и базу дан-

ных MS Access. База данных содержит данные по теплофизическим свойствам огнеупорных и теплоизоляционных материалов.

Главное окно программы представлено на рис. 2. В главном окне осуществляется ввод исходных данных. На вкладке «Слои» графически отображается конструкция многослойной стенки, добавление и редактирование слоев осуществляется с помощью кнопок. Коэффициенты полинома теплопроводности для выбранного материала могут быть загружены из базы данных или введены вручную.

На рис. 3 представлено окно просмотра результатов расчета. Программа отображает результаты расчетов в численном виде, а также визуализирует температурное поле графически. Для реализации нестандартных элементов пользовательского интерфейса (визуализация конструкции стенки и температурного поля) использовалась графическая библиотека GDI+ [2]. Использование таких элементов повышает наглядность графического интерфейса.

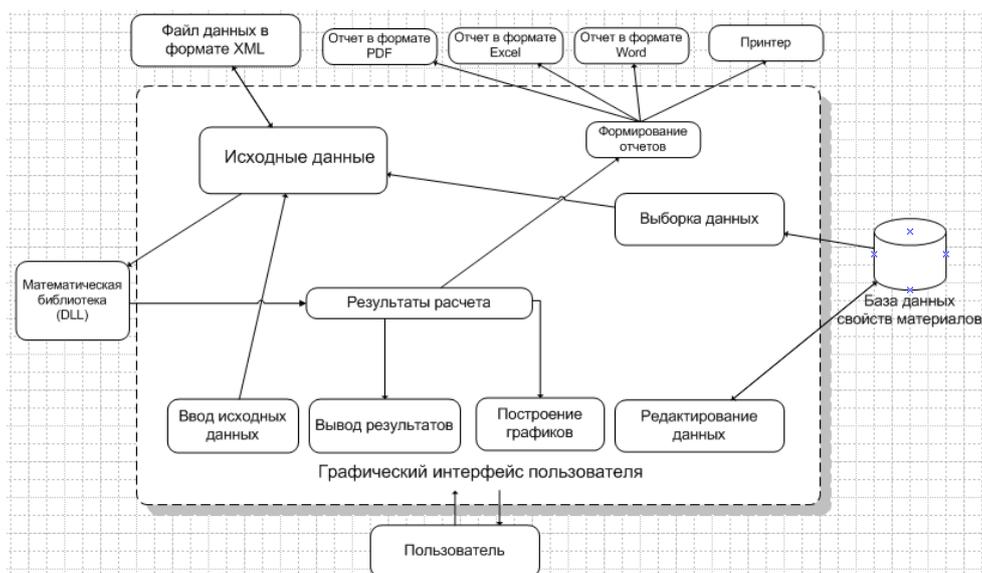


Рис. 1. Архитектура программного обеспечения

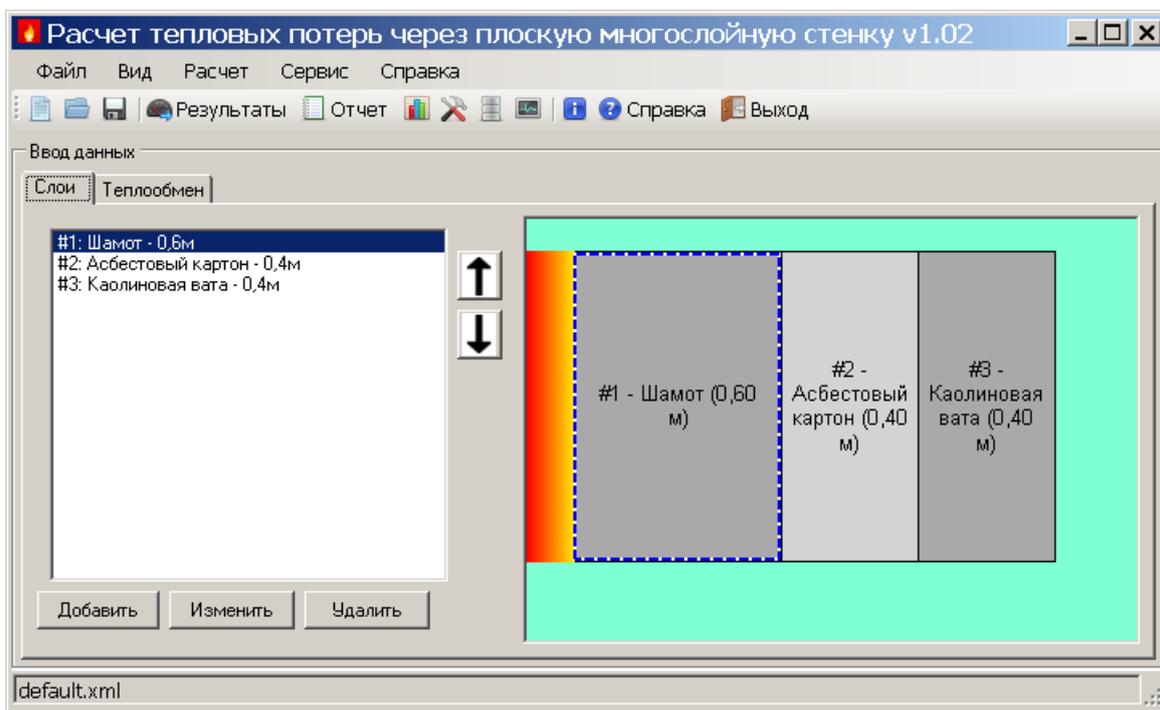


Рис. 2. Главное окно программы

Дополнительные функции программы включают:

- хранение наборов исходных данных в XML-файлах;
- формирование отчетов в форматах Word, Excel и PDF, вывод их на печать;
- сравнение результатов расчета для нескольких наборов исходных данных с представлением результатов в виде таблиц и диаграмм;
- управление базой данных свойств огнеупорных и теплоизоляционных материалов;
- аппроксимация таблиц теплопроводности с занесением коэффициентов полинома в базу данных.

Функция аппроксимации таблиц теплопроводности полезна при обработке справочных данных, представленных в виде таблиц или графиков.

Для развертывания программы на компьютере пользователя был разработан инсталлятор. Имеется пользовательская документация, позволяющая легко изучить работу с программой.

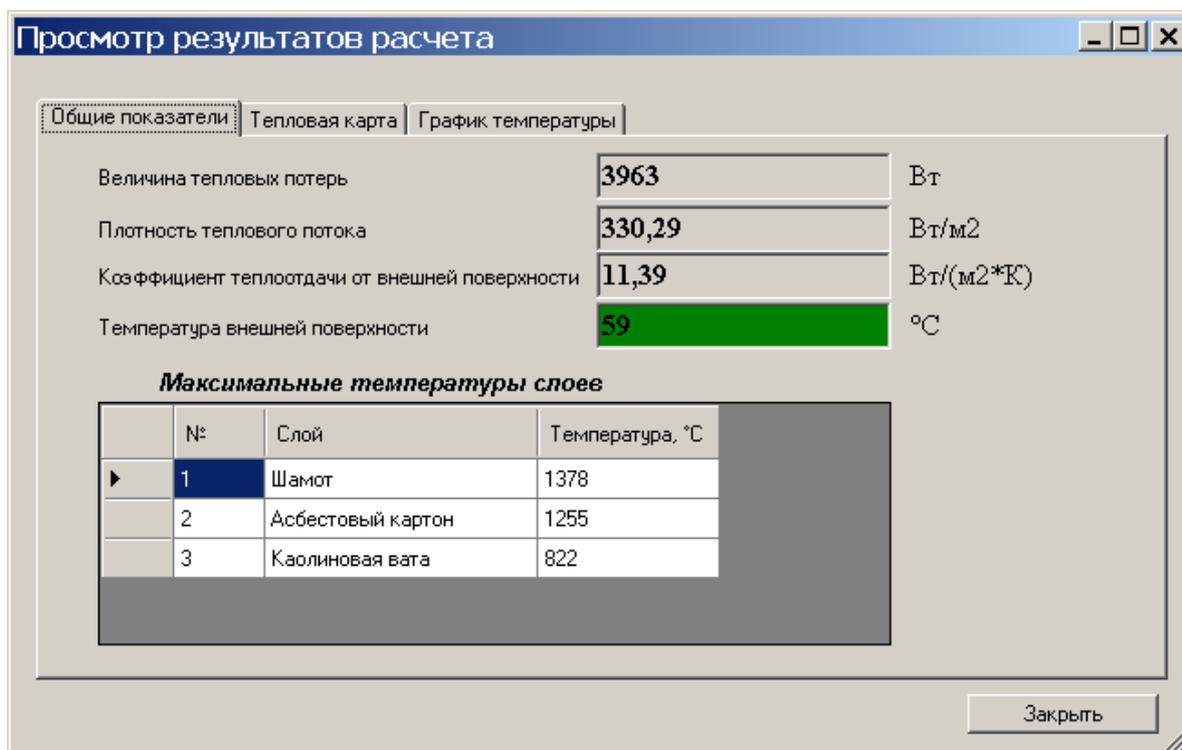


Рис. 3. Окно просмотра результатов расчета

Рассмотрим влияние различных факторов на тепловые потери с помощью встроенного в программу средства сравнения результатов расчета. Исследования показали, что тепловые потери незначительно уменьшаются при увеличении толщины слоя футеровки, а при увеличении толщины слоя тепловой изоляции тепловые потери резко снижаются. Рис. 4 иллюстрирует влияние толщины слоя тепловой изоляции на величину тепловых потерь. Изменяя материал тепловой изоляции можно также значительно снизить тепловые потери, например, при использовании минеральной ваты тепловые потери в 5 раз меньше, чем при использовании шамота-легковеса.

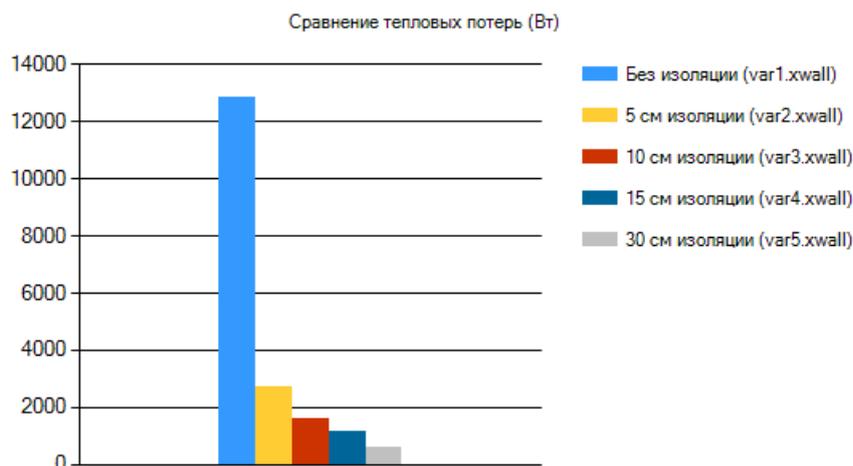


Рис. 4. Зависимость тепловых потерь от толщины слоя теплоизоляции

Рассмотрим влияние тепловой изоляции на температурное поле в стенке высокотемпературной печи путем изучения тепловых карт – диаграмм, в которых точки отображаются разным цветом в зависимости от их температуры (рис. 5).

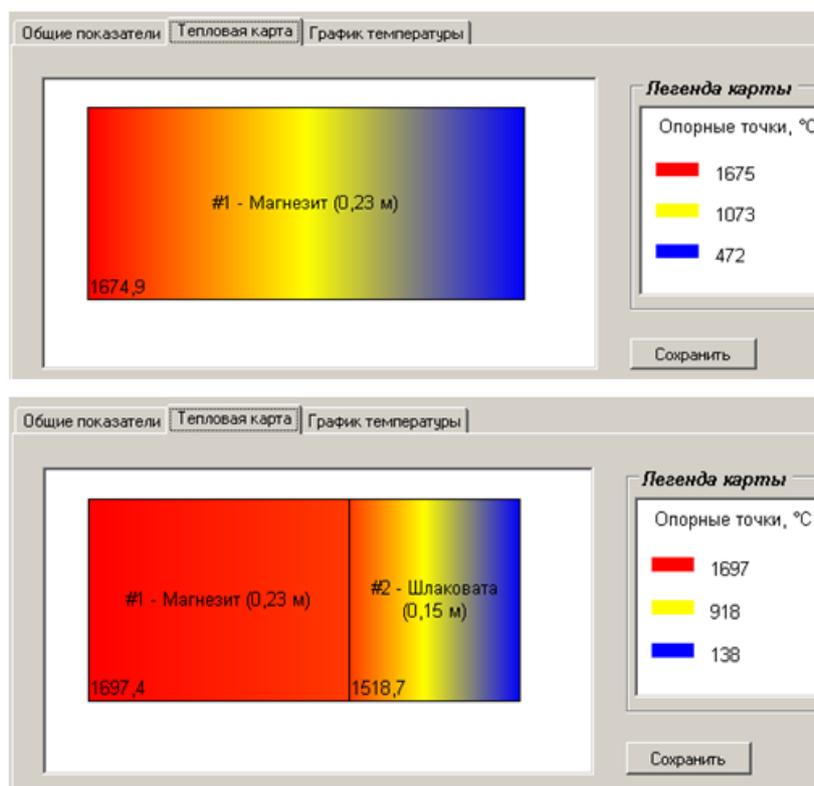


Рис. 5. Влияние тепловой изоляции на температурное поле в стенке

Видно, что при введении слоя тепловой изоляции температура в рабочем слое футеровки повышается, что отрицательно влияет на ее стойкость. Поэтому для высокотемпературных печей (сталеплавильных, ферросплавных, рафинирования никеля) целесообразно применять водоохлаждаемые панели корпуса, что подтверждается практикой [3].

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что рекомендуемыми мероприятиями для снижения тепловых потерь являются следующие:

- увеличение толщины слоя тепловой изоляции;
- применение теплоизоляционных материалов наилучшего качества, таких как минеральная вата;
- покрытие наружной поверхности светлой алюминиевой краской.

Для высокотемпературных печей целесообразно применять водоохлаждаемые панели корпуса, так как это снижает температуру в рабочем слое футеровки и повышает срок ее службы.

Таким образом, разработанное ПО позволяет рассчитать величину тепловых потерь через плоскую многослойную стенку, построить температурное поле в ней, а также исследовать влияние различных факторов на тепловые потери. ПО может использоваться инженерами-теплотехниками при проектировании металлургических печей, а также студентами технических специальностей при изучении дисциплины «Теплофизика».

Список использованных источников

1. Кутьин В.Б., Гушин С.Н., Фетисов Б.А. Расчет тепловых потерь через печные ограждения. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1996. 17 с.
2. Лабор В.В. Си Шарп: создание приложений для Windows. Минск: Харвест, 2003. 384 с.
3. Электротермические процессы и установки: учебное пособие / А.И. Алиферов [и др.]. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007. 360 с.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ СТЕНКИ С ПОМОЩЬЮ ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ

Силкин П.А.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

В связи с развитием металлургии и по мере распространения тепловых агрегатов различного назначения одной из важных отраслей промышленности во всех развитых странах стало применение огнеупорных и теплоизоляционных материалов.

Огнеупорные материалы – изделия на основе минерального сырья, отличающиеся способностью сохранять свои свойства в условиях эксплуатации при высоких температурах, и которые служат в качестве конструкционных материалов и защитных покрытий.

Сырье для огнеупорных материалов – простые и сложные оксиды (например, SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , MgO-SiO_2), бескислородные соединения (например, графит, нитриды, карбиды, бориды, силициды), а также оксинитриды, оксикарбиды, сиалоны.

Эксплуатационные свойства огнеупорных материалов определяются комплексом химических, физико-химических и механических свойств.

Основное свойство огнеупорных изделий – огнеупорность, т.е. способность изделия противостоять, не расплавляясь, действию высоких температур.

Главная задача теплоизоляционных материалов в промышленных печных агрегатах сохранять тепло и поддерживать температуру на требуемом технологическом уровне. Для практического использования любого материала в качестве теплоизолятора важны две основные характеристики: температура длительного применения и аккумулирующая способность. Температура длительного применения и ее колебания в процессе эксплуатации влияют на величину коэффициента теплопроводности теплоизоляции. При постоянной температуре теплопроводность изоляции повышается примерно на 10–15 % за счет упорядочения структуры, повышения ее плотности и других физико-химических процессов, а в условиях переменных температур понижается вследствие образования дополнительных микротрещин в структуре материала. Потери тепла на аккумуляцию и излучение кладкой промышленных печей колеблется от 50 до 90 % в зависимости от конструкции печей. Эти потери могут быть сокращены двумя основными способами: уменьшением объема кладки стен и уменьшением теплоемкости или теплопроводности материала кладки печи. Оба