

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

### Аннотация

*Представлены этапы разработки информационно-моделирующей системы, позволяющей оценивать расположение и форму зоны вязкопластичных масс железорудных материалов (зону когезии) в доменной печи, осуществлять диагностику ее рациональной конфигурации по реально доступной информации о работающей печи для базового периода, а также решать комплекс задач для проектного периода при изменении режимных параметров плавки. Отражены функциональные возможности и результаты использования программного обеспечения для управления технологией доменной плавки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».*

*Ключевые слова: доменное производство, информационно-моделирующая система, разработка программного обеспечения, теплообмен, вязкопластическое состояние, железорудные материалы, конфигурация зоны когезии.*

### Abstract

*This report presents the development cycles used by authors in the creation of the computer decision support system, allowing to size up an arrangement and the form of a zone of is viscous-plastic weights charge materials (plastic zone) in a blast furnace, to carry out diagnostic of its rational configuration under really accessible information on the working blast furnace for the base period, and also to solve a complex of problems for the design period at change of operating conditions of fusion. The article reflects functionality and results of use of the software to solve technological problems in the blast-furnace process of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works.*

*Keywords: blast furnace, the computer decision support system, software development, heat exchange stockline, technological smelting conditions, charge material distributions, liquid phase formation, plastic zone position.*

Роль алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области металлургии MES-уровня (Manufacturing Execution Systems – системы управления технологией, производственными процессами) современных автоматизированных информационных систем крупнейших металлургических предприятий России в настоящее время становится все более очевидной. Это определяет потребность в разработке специализированного программного обеспечения информационно-моделирующих систем, в основу которого положен комплекс математических моделей, учитывающих как физику процесса, основы теории тепло- и массообмена, законы сохранения энергии, так и особенности вли-

яния технологических и стандартных характеристик сырья на показатели производственного процесса [1; 2]. При этом важно обеспечить высокий уровень их интеграции с существующими производственными и корпоративными системами.

В основу разработки математической модели информационно-моделирующей системы расчета теплообменных процессов и оценки параметров зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов в доменной печи положен известный принцип возмущенного-невозмущенного движения [3]. Модель доменного процесса условно можно разделить на две части – модель базового состояния и прогнозирующую модель (модель в малом). Модель базового состояния позволяет оценивать состояние процесса по фактическим усредненным показателям за базовый период работы печи. Прогнозирующая модель с использованием результатов, полученных с помощью модели базового состояния, позволяет оценить показатели доменного процесса в случае изменения условий плавки. Ранее этот принцип был успешно использован при моделировании теплового, дутьевого, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки [1; 2].

Поскольку математическая модель расположения и конфигурации зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов является относительно сложной для реализации подсистемы в виде программного модуля, потребовалось проведение функционального моделирования и с детальной разработкой спецификаций отдельных блоков модели.

Функциональное моделирование выполнено по стандарту IDEF0 (Integrated computer aided manufacturing DEFinition), который является развитием методики SADT (Structural Analysis and Design Technique) [4]. Использование методики IDEF0 позволило создать функциональную структуру информационно-моделирующей системы, выявить производимые действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции, что, в конечном итоге, позволило на ранней стадии проектирования предотвратить возможные ошибки. Реализация выполнена с помощью CASE-средства AllFusion Process Modeler (BPwin) [5].

Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели составляет 104. Фрагмент диаграммы 1-го уровня функциональной модели подсистемы моделирования зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов, представленный на рис. 1, включает следующие функции:

- *«Осуществить сбор и первичную обработку данных» (A1)* обеспечивает автоматическое наполнение системы данными из АСУ ТП и КИС. Сбор первичных данных производится в строго регламентированные моменты времени, которое установлено согласно требованиям инженерно-технологического персонала доменного цеха. Выходная информация служит источником для всех других подсистем;
- *«Определить эквивалентные диаметры кусков и порозности слоя шихтовых материалов» (A2)* обеспечивает расчет эквивалентных диаметров кусков кокса и агломерата, порозности слоев кокса, агломерата и окатышей;

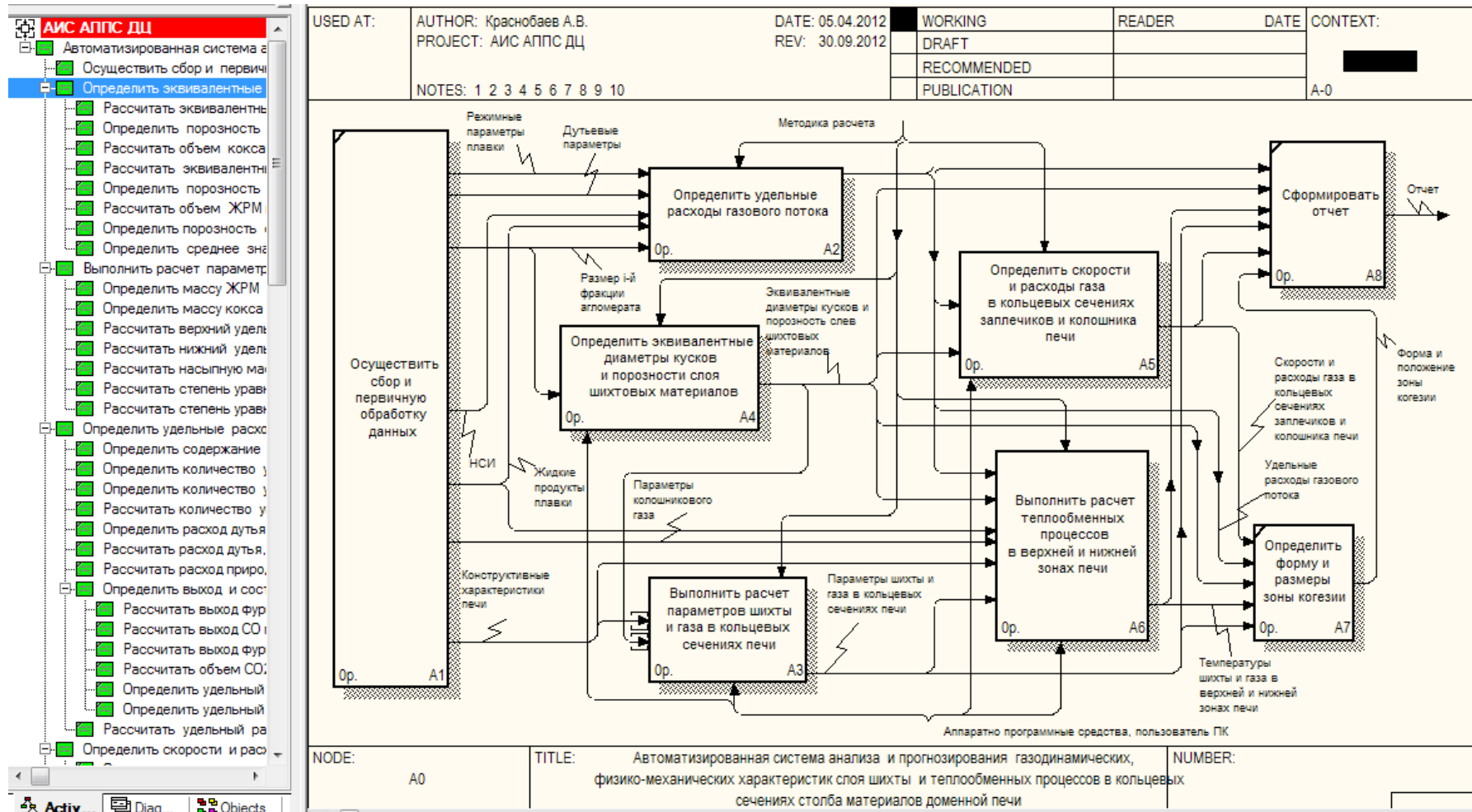


Рис. 1. Фрагмент функциональной модели подсистемы моделирования зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов

- «Выполнить расчет параметров шихты и газа в кольцевых сечениях печи» (A3) обеспечивает расчет массы кокса и ЖРМ в  $1 \text{ м}^3$  шихты в кольцевых сечениях; насыпной массы шихты, ЖРМ и степени уравнивания шихты в каждом кольцевом сечении в верхней и нижней зонах печи; нижний и верхний удельный перепад давления газа;

- «Определить удельные расходы газового потока» (A4) обеспечивает расчет следующих показателей: содержание «нелетучего» углерода в коксе; количество углерода кокса, пришедшего в печь; количество углерода кокса на восстановление оксидов железа и примесей чугуна прямым путем; количество углерода кокса, сгорающего у фурм; расход природного газа в расчете на  $1 \text{ кг}$  углерода кокса, сгорающего у фурм; расход дутья, необходимый для сжигания  $1 \text{ кг}$  кокса у фурм; расход дутья, необходимый для конверсии  $1 \text{ м}^3$  природного газа; удельный расход дутья; выход фурменного (горнового) газа от сжигания  $1 \text{ кг}$  углерода кокса у воздушных фурм; выход фурменного (горнового) газа при конверсии  $1 \text{ м}^3$  природного газа у воздушных фурм; удельный выход фурменного газа; выход  $\text{CO}$  при прямом восстановлении железа и примесей чугуна; объем  $\text{CO}_2$ , получающийся при разложении известняка; удельный выход колошникового газа;

- «Определить скорости и расходы газа в кольцевых сечениях заплечиков и колошника печи (A5)» обеспечивает расчет следующих показателей: объема кокса и ЖРМ в кольцевых сечениях; порозности слоя шихты в каждом кольцевом сечении зоны когезии и зоны фильтрации расплавов; скорости газа в расчетном сечении заплечиков; объемного расхода газа в кольцевых сечениях заплечиков; объемного расхода газа, проходящего через расчетные кольцевые сечения на колошнике; удельный выход фурменного газа; среднюю скорость фильтрации газа в заплечиках;

- «Выполнить расчет теплообменных процессов в верхней и нижней зонах печи» (A6) обеспечивает расчет отношения теплоемкостей потоков шихты и газа, их соотношение и распределение температур шихты и газа в верхней и нижней ступенях теплообмена;

- «Определить форму и размеры зоны когезии» (A7) обеспечивает расчет геометрических параметров и графическое отображение зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов в доменной печи.

Создание алгоритмического обеспечения, спецификаций расчетных блоков произведено на основе диаграмм потоков данных (Data Flow Diagram, DFD), адаптированных для отображения математических зависимостей (расчетных блоков) [4]. Нотация метода DFD предполагает разбиение математической модели на отдельные функциональные компоненты (процессы) и представление их в виде сети, связанной потоками данных. Главная цель использования нотации DFD – продемонстрировать, как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные, а также выявить отношения между этими процессами.

На рис. 2 продемонстрирована архитектура программного обеспечения информационно-моделирующей системы, в которой выделены основные компоненты ее программной реализации. Центральным звеном является структура хранения данных, которая формируется на сервере базы данных информационно-вычислительного центра доменного производства (ИБЦ ДЦ). Источниками ее наполнения являются аппаратно-программное обеспечение АСУ доменного цеха, корпоративной информационной системы (КИС) и центральной диспетчерской комбината (ЦДК). В зависимости от требований отдельных подсистем возможно реализовать различные периоды усреднения данных в базе с помощью механизмов СУБД.

Представленная на рис. 2 архитектура обеспечивает заданную функциональность, выполнение требований предметной области, относительно простое расширение и изменение системы, возможность автономной реализации отдельных программных модулей и их независимость от структуры хранения данных.

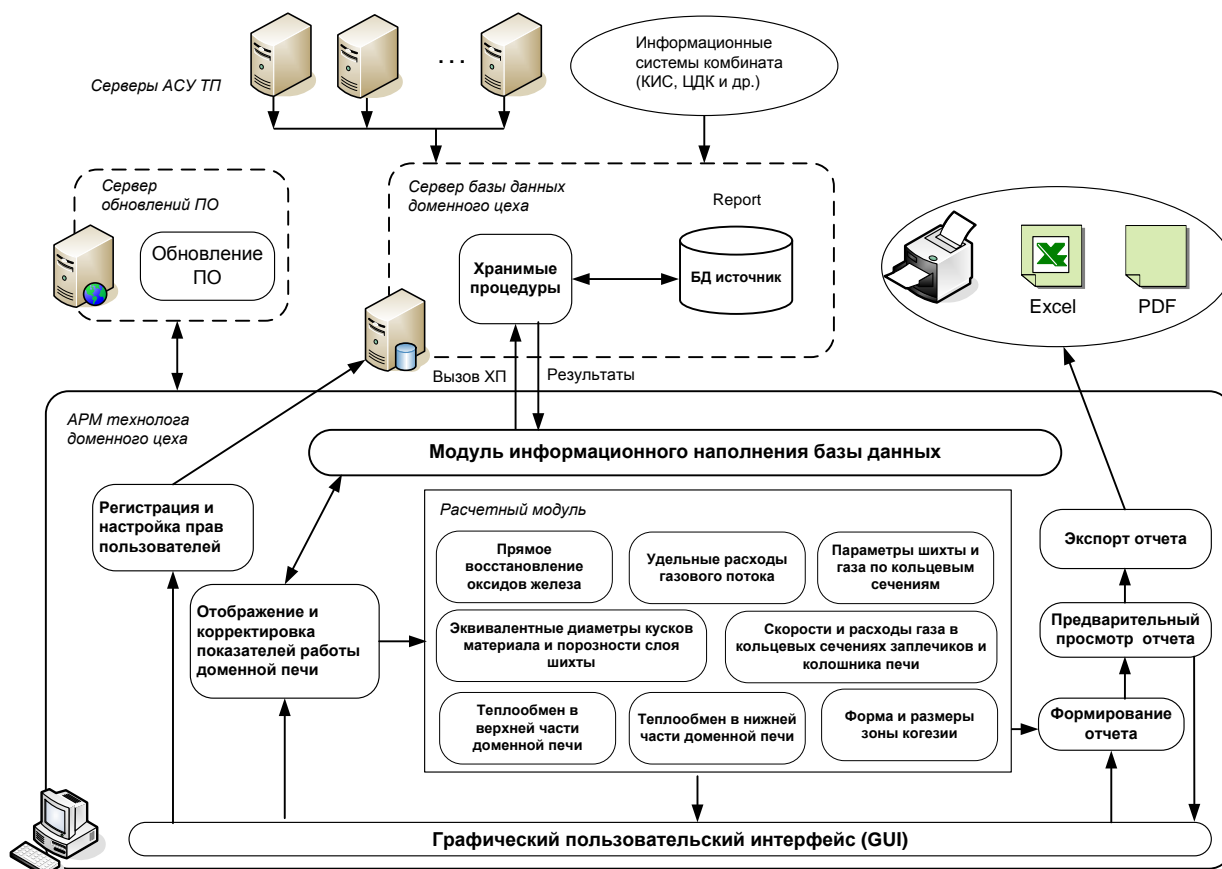


Рис. 2. Архитектура программного обеспечения

Программа имеет модульную структуру; основным клиентским модулем является RingsFront, выполненный в виде запускаемого файла Rings.exe. Среда разработки – Microsoft Visual Studio 2010, язык программирования С# [6]. Основными компонентами расчетного модуля являются следующие программные динамически подключаемые библиотеки (dynamic-link library, dll):

- RingSolverLib.dll – математическая библиотека расчета параметров теплообменных процессов в верхней и нижней зонах печи, формы и размеров зон вязкопластичного состояния железорудных материалов;
- ForecastLib.dll – математическая библиотека расчета шлакового режима доменной плавки;
- Gazdin.dll – математическая библиотека расчета газодинамического режима доменной плавки;

- BlastFurnaceGraphics.dll – пользовательский компонент (элемент управления) для визуализации зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов в доменной печи.

Программное обеспечение «Расчет теплообменных процессов и параметров зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов в доменной печи» является частью системы оптимизации технологического процесса доменной плавки, выполняет расчет и отображение технологических параметров, характеризующих радиальную неравномерность распределения параметров на доменных печах ОАО «ММК»:

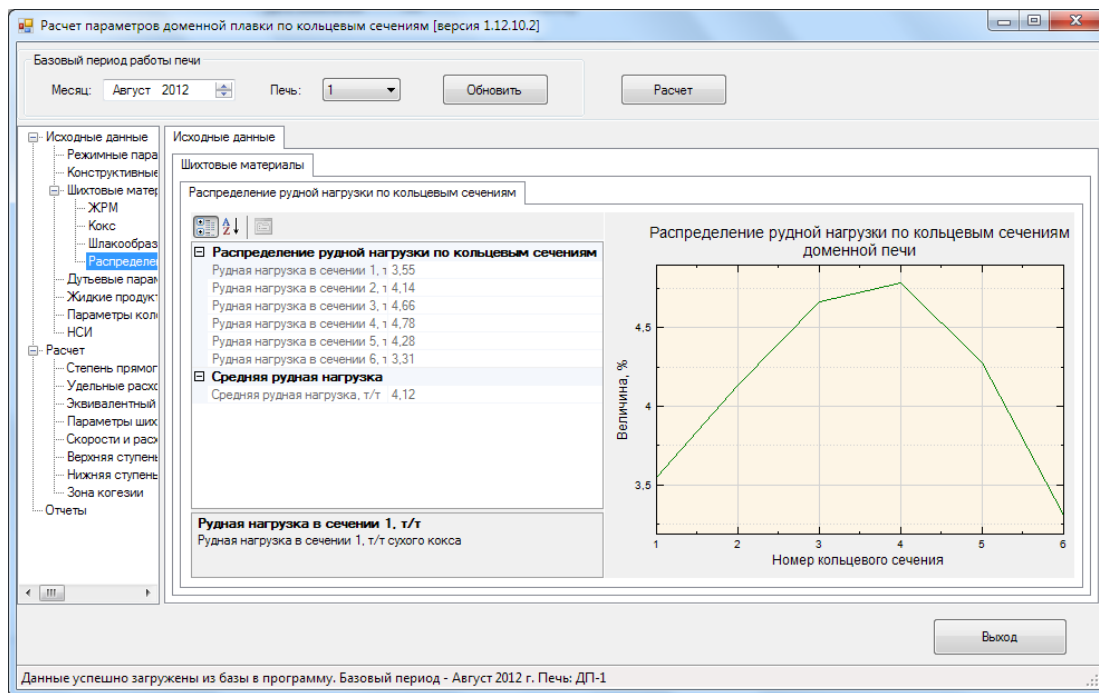
- показателей, характеризующих прямое восстановление оксидов железа;
- удельных расходов газового потока;
- параметров шихты и газа по кольцевым сечениям;
- эквивалентных диаметров кусков материала и порозности слоя шихты;
- скоростей и расходов газа в кольцевых сечениях заплечиков и колошника печи;
- показателей, характеризующих теплообменные процессы в верхней и нижней ступенях теплообмена доменной печи;
- формы и размеров зон вязкопластичного состояния железорудных материалов.

Программное обеспечение предназначено для инженерно-технологического персонала, входит в состав автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования доменного цеха ОАО «ММК».

На рис. 3 представлено главное окно программы с результатами расчетного распределения рудной нагрузки по радиусу колошника и визуализацией формы и положения зоны когезии по фактическим производственным данным для ДП № 1 ОАО «ММК».

Таким образом, разработанная информационно-моделирующая система, внедренная в опытно-промышленную эксплуатацию доменного производства ОАО «ММК», позволяет инженерно-технологическому персоналу оценивать расположение и форму зоны вязкопластичных масс железорудных материалов в доменной печи по реально доступной информации о работающей печи, осуществлять диагностику ее рациональной конфигурации, а также решать комплекс прогнозных задач при изменении режимных параметров плавки.

а



б

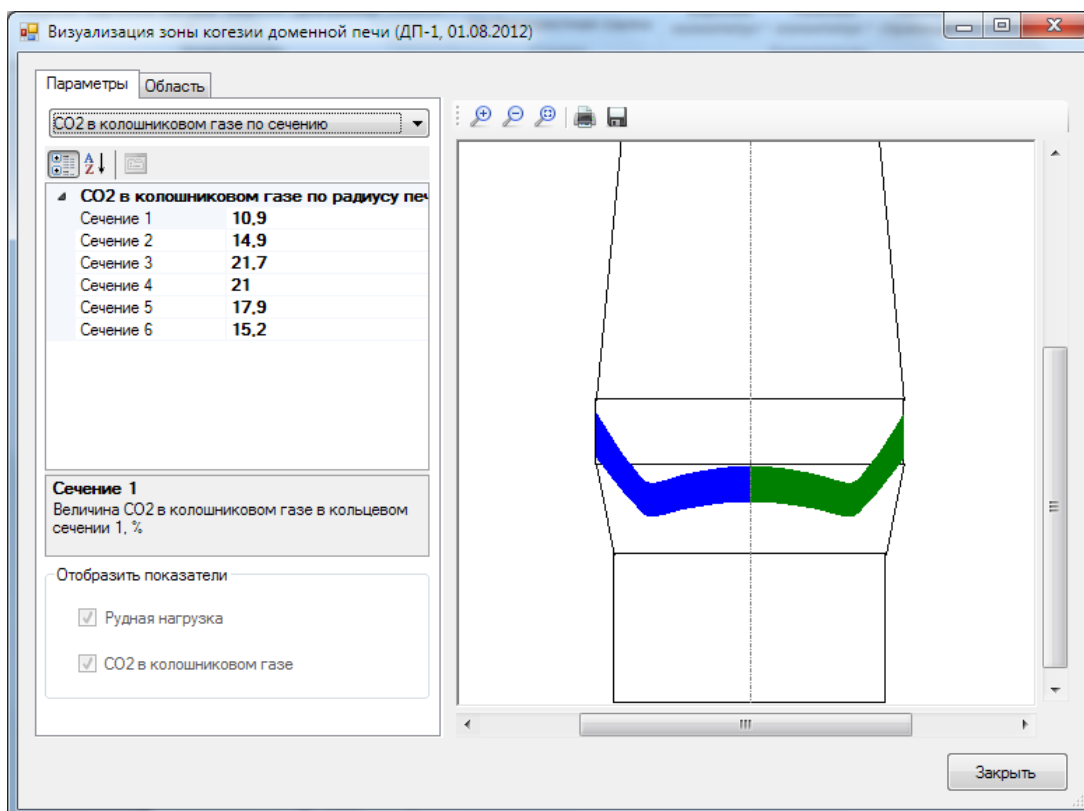


Рис. 3. Скриншоты программного обеспечения информационно-моделирующей системы расчета теплообменных процессов и зоны когезии ДП №1 ОАО «ММК»: а – главное окно программы с отображением исходных данных; б – окно с результатами визуализации зоны когезии

## Список использованных источников

1. Спирин Н. А., Лавров В. В., Рыболовлев В. Ю., Краснобаев А. В., Онорин О. П., Косаченко И. Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
2. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О. П. Онорин, Н. А. Спирин, В. Л. Терентьев [и др.]. / под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
3. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С. В. Емельянов, С. К. Коровин, Л. П. Мышляев, А. С. Рыков, В. Ф. Евтушенко, С. М. Кулаков, Н. Ф. Бондарь. – Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
4. Одинцов И. О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
5. Дубейковский В. И. Эффективное моделирование с СА ERwin Process Modeler (WRwin; AllFusion Process Modeler). – М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 384 с.
6. Фленов М. Е. Библия С#. – 2-е издание. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 560 с.

УДК 669-042

**Т. О. Девярых, Е. А. Девярых**

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

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

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШАХТНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЕРЕПЛАВКИ МЕДНЫХ ПЛАСТИН

### Аннотация

*В данной работе описано создание математической модели шахтной печи для переплавки медных пластин. Помимо математической модели создан программный продукт, рассчитывающий изотермическую и неизотермическую задачи движения газов, задачи теплообмена. В результате расчета получены таблицы распределения параметров (температуры, скорость и др.) с возможностью экспорта в MathCad.*

*Ключевые слова: математическая модель, газодинамика, шахтная печь, дискретный аналог, среда программирования Microsoft Visual Studio 2010, MathCad.*

### Abstract

*In this article there are description of creation of mathematical model of a shaft furnace for melting copper plates. In addition to the mathematical model software was created, which calculates the isothermal and non-isothermal gas movement, heat transfer. As a result there are distribution table of parameters (temperature, velocity, etc.) obtained. Data can be exported to MathCad.*

*Keywords: mathematical model, gas dynamics, shaft furnace, the discrete analog environment of programming Microsoft Visual Studio 2010, MathCad.*