

УДК 669.162.263

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АСУП ДОМЕННОГО ЦЕХА

Лавров В.В.¹, д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика и информатика
в металлургии» (v.v.lavrov@urfu.ru)

Спиринов Н.А.¹, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплофизика и информатика в металлургии»

Бурыкин А.А.¹, к.т.н., доцент кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии»

Щипанов К.А.¹, к.т.н., доцент кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии»

Рыболовлев В.Ю.², к.т.н., начальник проектного офиса

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

² ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
(455000, Россия, Магнитогорск, ул. Кирова, 93)

Аннотация. Рассмотрены требования, структура и архитектура АРМ «Технолог доменного цеха» компьютерной системы поддержки принятия решений MES-уровня, внедренной в АСУП доменного производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Представлено краткое описание основных модельных подсистем, а также допущения, принятые в процессе математического моделирования. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологическому персоналу оперативно проводить анализ производственных ситуаций доменного цеха, решать ряд технологических задач по управлению тепловым, газодинамическим и шлаковым режимами доменной плавки, а также производить расчет оптимального состава доменной шихты, что в конечном итоге обеспечивает повышение технико-экономических показателей работы доменного производства.

Ключевые слова: доменное производство, автоматизированная система управления производством, MES-система, анализ производственных ситуаций, решение технологических задач.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-703-709

Современная тенденция развития науки и техники характеризуется широким использованием компьютерных систем поддержки принятия решений в АСУП, в основу которых положены методы математического моделирования [1 – 5]. 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 [1, 2].

Это определяет потребность в разработке информационно-моделирующих систем, основу которых составляет комплекс математических моделей, учитывающих как физику процесса, основы теории тепло- и массообмена, законы сохранения энергии, так и особенности влияния технологических и стандартных характеристик сырья на показатели производственного процесса. Особое место в этом комплексе технологических операций получения металлопродукции отводится доменному переделу как самому энергоемкому и сложному, на долю которого приходится до 50 % топлива, используемого в черной металлургии.

В работе отражены результаты создания и внедрения автоматизированной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК). Построение системы основано на следующих основных принципах.

- Система должна решать комплекс взаимосвязанных технологических задач. Инженерно-технологическому персоналу доменного цеха с помощью программного комплекса необходимо иметь возможность оперативно производить анализ работы металлургических агрегатов, оценивать текущее состояние хода технологического процесса, производить изучение и анализ наметившихся отклонений ключевых показателей, выявлять причины, повлекшие эти отклонения и разрабатывать мероприятия по повышению эффективности металлургического производства.
- Обязательным требованием к системе является обеспечение простоты и легкости ее использования, поскольку большинство пользователей являются не специалистами в области информационных технологий и моделирования доменного процесса.

- Непосредственную работу с системой осуществляют специалисты различных служб комбината, каждый из которых решает свои производственные задачи. В этой связи обязательным условием является наличие в системе модуля администрирования, разделения прав и категорий пользователей.
- Для выполнения заложенных функций система взаимодействует с другими информационными системами комбината (АСУ ТП, КИС). Поэтому реализованы возможности автоматического наполнения данными и передачи их между подсистемами, а также средства интеграции в корпоративную сеть предприятия.
- В процессе эксплуатации системы предполагается ее непрерывное развитие (добавление новых показателей в отчеты, возможность их сопоставления, уточнение моделей и настройка их параметров на условия работы топливно-сырьевой базы комбината и др.). Поэтому разработка системы выполнена на основе принципов модульного программирования с учетом современных технологий и средств программной реализации.

На основе вышеназванных принципов разработана структура системы, представленная на рис. 1. Основными подсистемами являются:

- «Сбор и хранение данных», основной функцией которой является заполнение базы данных фак-

- «Визуализация среднесменных и среднесуточных данных о работе доменных печей», которая обеспечивает построение графических трендов по выбранным пользователем параметрам в любой комбинации за указанный временной период;
- «Формирование технического отчета о работе доменных печей и цеха», предназначенная для формирования технического отчета о работе печей и цеха в целом за заданные периоды работы печей и цеха;
- «Сопоставление отчетных показателей работы доменных печей и цеха», которая обеспечивает возможность сравнения показателей работы цеха или печи по комплексу выбранных параметров за заданный временной период;
- «Модельная поддержка принятия решений, прогнозирование технологических ситуаций и диагностика работы доменных печей». В основу реализации подсистемы положены алгоритмы расчета с использованием математических моделей доменного процесса для выбранного пользователем периода работы отдельных печей или цеха в целом [1, 2]. Анализ доменного процесса позволяет констатировать, что эта подсистема должна включать следующие взаимосвязанные подсистемы более низкого уровня декомпозиции:

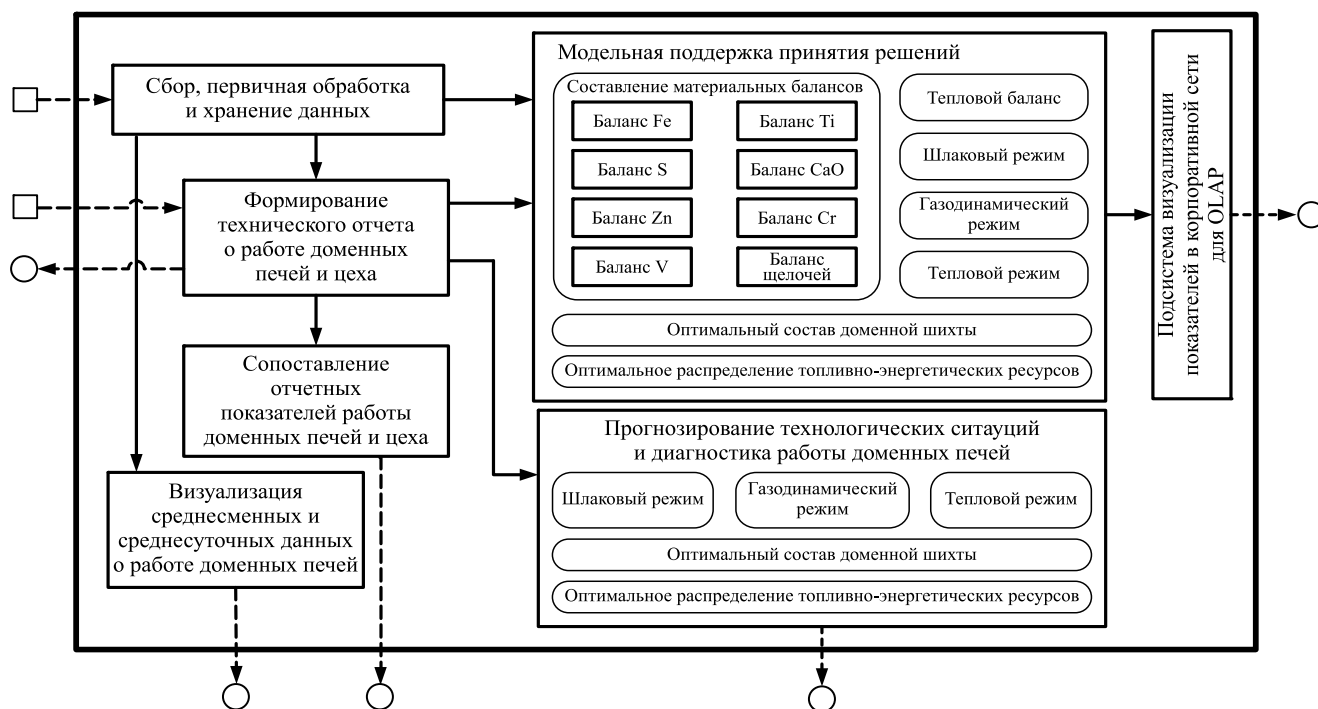


Рис. 1. Структура автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ):

□ – источник данных; ○ – представление данных

Fig. 1. Structure of management information system for the analysis and forecasting of industrial situations of blast-furnace shop:

□ – a source of data; ○ – data presentation

составление материальных балансов и теплового баланса доменной плавки; шлакового режима; газодинамического режима; теплового режима; оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов; оптимального выбора состава доменной шихты, а также диагностики хода доменной плавки. Каждая из этих подсистем взаимодействует с другими блоками параметров, подсистемами и внешней средой.

- «Визуализация показателей работы доменного производства для OLAP» обеспечивает уполномоченным пользователям доступ ко всей отчетной информации по доменному производству в корпоративной сети предприятия.

В ходе проектирования системы потребовалась детальная проработка функциональности отдельных подсистем. С этой целью разработана обобщенная функциональная модель, в основу которой положены идеи и нотации методики структурного анализа и проектирования IDEF0 [6]. Реализация выполнена в программе AllFusion Process Modeler (BPwin). Использование этой методики позволило создать функциональные блоки отдельных подсистем, выявить производимые ими действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции. Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели АИС АППС ДЦ составляет 152. Декомпозиция модели выполнена до третьего уровня включительно.

На основе анализа требований технологического персонала, нормативно-справочной информации доменного производства и функционального моделирования разработано математическое и алгоритмическое обеспечение, которое положено в основу программной реализации подсистемы отображения данных о работе отдельных доменных печей и цеха в целом. Структурный системный анализ и проектирование блоков математических моделей выполнены на основе процедурно-ориентированного подхода. Основой данного подхода является использование диаграмм потоков данных (DFD, Data Flow Diagrams) – информационной модели, основными компонентами которой являются потоки данных, переносящие информацию от одного модуля к другому [6]. Нотация метода DFD предполагает разбиение математической модели на отдельные функциональные компоненты (процессы) и представление их в виде сети, связанной потоками данных.

Программная реализация информационно-моделирующего комплекса «Автоматизированное рабочее место (АРМ) технолога доменного цеха» выполнена в среде Microsoft Visual Studio (язык программирования C#) [7]. На рис. 2 продемонстрирована архитектура программного обеспечения комплекса, в которой выделены основные компоненты. Центральным звеном является структура хранения данных [8], которая формируется на сервере базы данных информацион-

но-вычислительного центра доменного производства. 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 системы управления базами данных.

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. Перечень расчетных программных модулей:

- «Тепловой баланс доменной плавки» производит автоматический расчет и отображение приходных и расходных статей теплового баланса доменной плавки на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;
- «Материальные балансы железа, серы, цинка, титана, СаО, хрома доменных печей» осуществляет автоматический расчет и отображение материальных балансов железа, серы, цинка, титана, СаО, хрома доменных печей на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;
- «Газодинамический режим доменной плавки» производит автоматический расчет и отображение показателей газодинамического режима доменной плавки на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;
- «Шлаковый режим доменной плавки» выполняет автоматический расчет и отображение показателей шлакового режима доменной плавки на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха на основе среднемесячных отчетных данных за указанный пользователем период;
- «Выбор оптимального состава доменной шихты» позволяет решать технологические задачи выбора оптимального состава доменной шихты на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;
- «Зона вязкопластичного состояния железорудных материалов доменной печи» осуществляет автоматический расчет и отображение показателей, характеризующих форму и положение зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов доменной печи на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;

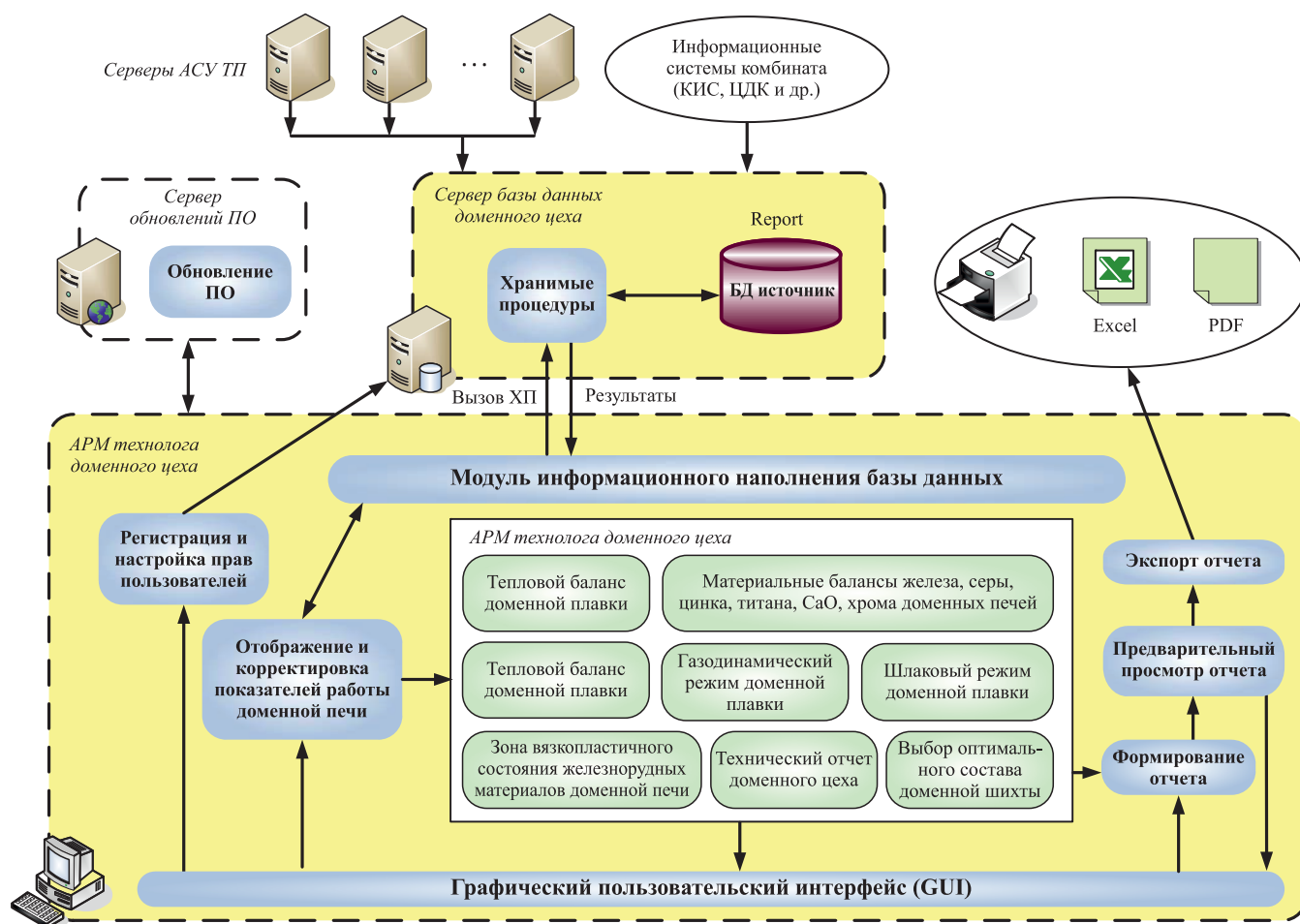


Рис. 2. Архитектура программного комплекса «Автоматизированное рабочее место технолога доменного цеха»

Fig. 2. Architecture of a program complex «Automated workplace of the blast furnace plant technologist»

- «Технический отчет доменного цеха» производит отображение показателей технического отчета доменного цеха за календарный месяц, а также с начала года до указанного пользователем месяца.

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

Интегрированный программный комплекс выполнен в виде отдельного клиентского приложения, установленного на компьютер пользователя путем установки загрузочного файла. Исходными данными для работы являются среднемесячные отчетные данные о работе доменного цеха. При этом программа осуществляет автоматическое извлечение среднемесячных отчетных показателей о работе доменных печей и цеха за указанный пользователем период работы и расчет комплекса параметров, характеризующих технологические режимы доменной плавки. В качестве источника отчетных данных выступает централизованная база данных АСУ доменного цеха. Комплекс имеет широкий выбор интерактивных настроек для

удобства восприятия и минимизации рутинных действий пользователя. Результаты модельных отчетов представляются в табличной и графической пользовательских формах, предусмотрено формирование отчета с возможностью его предварительного просмотра и экспорта в другие форматы.

После регистрации пользователя в программе и загрузки главной формы на экране будут отражены отчетные данные для базового (фактического отчетного за календарный месяц) периода работы доменной печи, которые автоматически считываются из базы данных центра АСУ ММК за календарный месяц (рис. 3). Отображение данных на главной форме возможно для двух периодов: базового и сравнительного. Сравнительный период служит для сопоставления фактических отчетных показателей работы доменной печи с аналогичными показателями в базовом периоде за календарный месяц.

Для удобства быстрого восприятия технологической ситуации и тенденций изменения отчетных показателей работы доменной печи в базовом и сравнительном периодах пользователю предоставлена возможность отображения данных по отдельным категориям: «Режим-

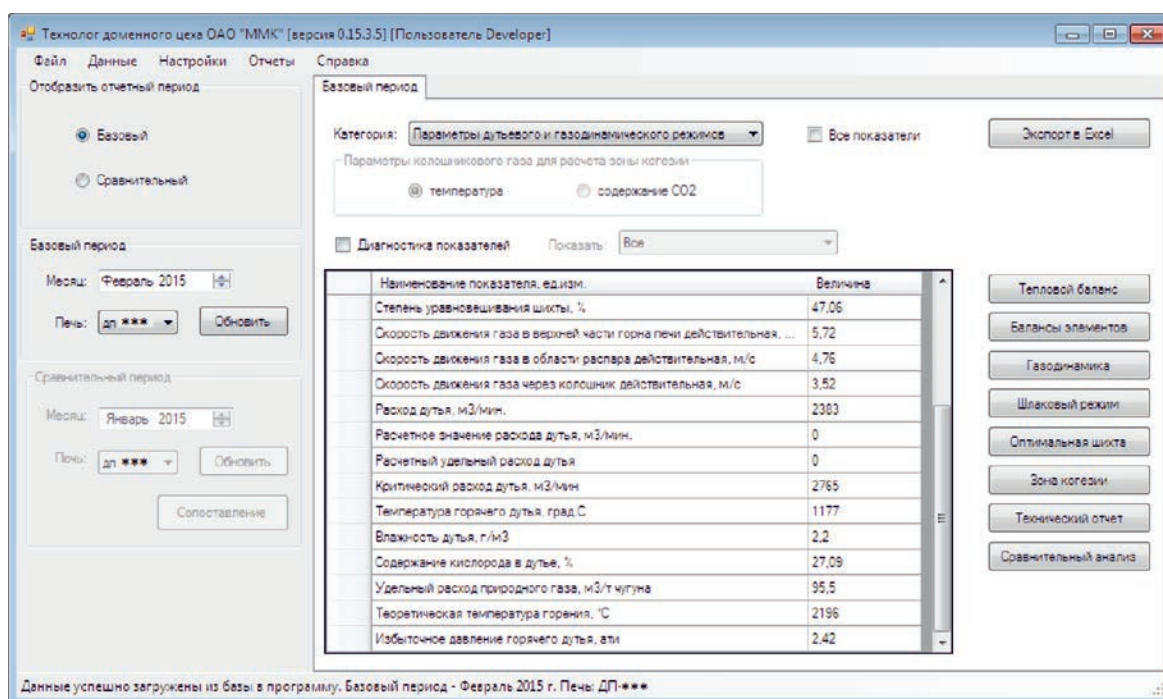


Рис. 3. Главное окно информационной системы АРМ «Технолог доменного цеха»

Fig. 3. The main window of information system of an automated workplace «The blast furnace plant technologist»

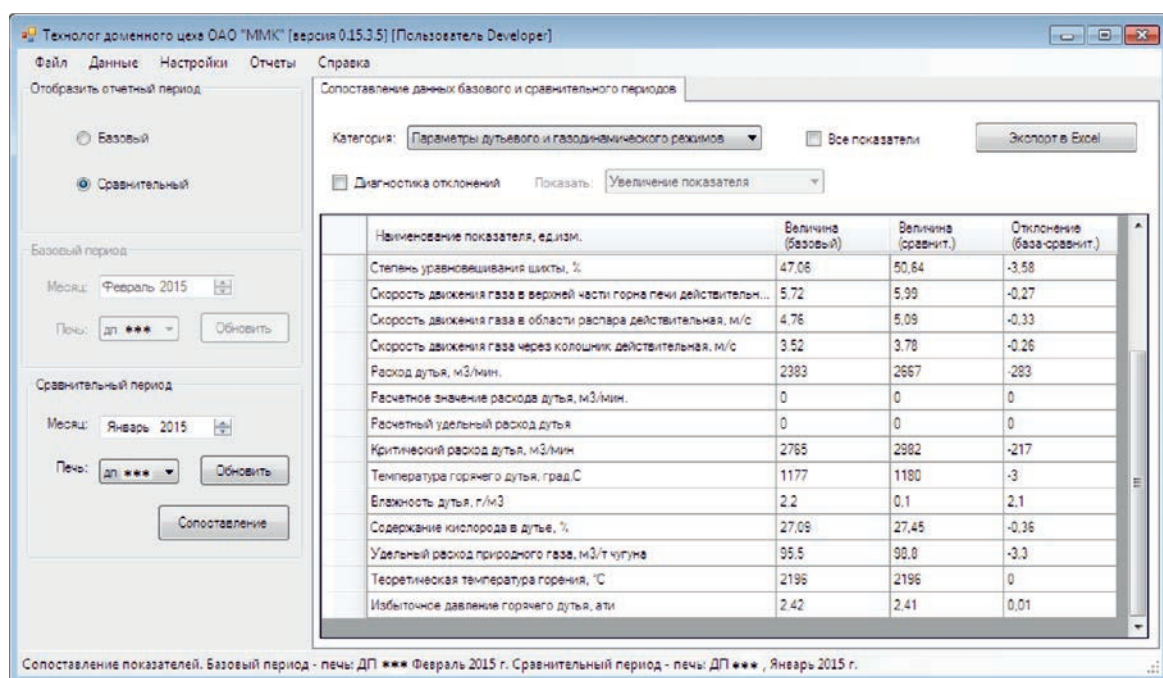


Рис. 4. Отображение сопоставления показателей базового и сравнительного периодов на форме АРМ «Технолог доменного цеха»

Fig. 4. The main view of information system of an automated workplace «The blast furnace plant technologist»

ные параметры»; «Конструктивные размеры печи»; «Характеристика кокса»; «Параметры и расход шихты»; «Дутьевые параметры»; «Колошниковый газ»; «Жидкие продукты плавки: чугун»; «Жидкие продукты плавки: шлак»; «Тепловой баланс»; «Баланс Fe»; «Баланс S»; «Баланс Zn»; «Баланс Ti»; «Баланс CaO»;

«Баланс Ст»; «Первичный шлак»; «Конечный шлак»; «Газодинамика».

После загрузки сравнительного периода пользователь с помощью кнопки «Сопоставить» может увидеть отклонения всех величин в сравнительном периоде от соответствующих показателей базового периода (рис. 4).

АРМ «Технолог доменного цеха», помимо предоставления данных для текущего анализа отчетных показателей и оценки производственных ситуаций, позволяет решать также ряд технологических задач по управлению тепловым, газодинамическим и шлаковым режимами доменной плавки, а также расчет оптимального состава доменной шихты.

В результате с использованием современной технологии разработки и программных инструментальных средств [6 – 8] создана и внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «ММК», которая предоставляет в распоряжение инженерно-технологического персонала современный инструмент оперативного анализа отчетных показателей работы [9, 10]. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологическому персоналу оперативно проводить анализ производственных ситуаций доменного цеха, решать задачи управления технологией доменной плавки, что в конечном итоге обеспечивает повышение технико-экономических показателей работы доменного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. / 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. Feng Q., Wang L. Blast furnace hoist charging control system based on ActiveX technology // WIT Transactions on Information and Communication Technologies; Wuhan; China; 7 May 2013 through 8 May 2013. 2014. Vol. 46. V. 2. P. 1853 – 1858.
4. Dimitrov B.H., Nenov H.B., Marinov A.S. Comparative analysis between methodologies and their software realizations applied to modeling and simulation of industrial thermal processes // 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2013; Opatija; Croatia; 20 May 2013 through 24 May 2013. Article number 6596383. P. 891 – 895.
5. Bartels R., Dohl K., Uhde H. etc. New process-control computer-system for the blast-furnace plant of an integrated iron and steel works // Stahl Und Eisen. 1994. Vol. 114. Issue 6. P. 75 – 79.
6. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
7. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. 6-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1311 с.
8. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1328 с.
9. Spirin N. A., Lavrov V. V., Burykin A. A. etc. Complex of model systems for supporting decisions made in managing blast-furnace smelting technology // Metallurgist. 2011. Vol. 54. No. 9 – 10. P. 566 – 569.
10. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: Учеб. пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.

Поступила 10 апреля 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 9, pp. 703–709.

DEVELOPMENT OF THE CAM SYSTEM SOFTWARE AT BLAST FURNACE PLANT

Lavrov V.V.¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Thermal Physics and Informatics in Metallurgy”

(v.v.lavrov@urfu.ru)

Spirin N.A.¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Thermal Physics and Informatics in Metallurgy”

Burykin A.A.¹, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Thermal Physics and Informatics in Metallurgy”

Shchipanov K.A.¹, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Thermal Physics and Informatics in Metallurgy”

Rybolovlev V.Y.², Cand. Sci. (Eng.), Chief of Design office

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

² JSC “Magnitogorsk Metallurgical Plant” (93, Kirova str., Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, Russia)

Abstract. The requirements, structure and architecture of an automated workplace «The technologist of domain shop», computer system of support of decision-making of the MES-level, introduced in CAM system at blast furnace plant of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Work» are considered. The short description of the basic modeling subsystems, and also the assumptions accepted in the course of mathematical modeling is presented. The use of the developed system allows the engineering-technological personnel operatively to carry out the analysis of industrial situations of blast-furnace shop, to decide a number of technological prob-

lems of management of thermal, gas dynamic and slag modes of blast-furnace smelting, and also to make calculation of optimum structure iron-ore materials, that finally provides the increase of technical and economic indicators of work of blast-furnace manufacture.

Keywords: blast furnace production, automated process control system for blast furnaces, MES-system, the analysis of industrial situations, the decision of technological problems.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-703-709

REFERENCES

1. Spirin N.A., Lavrov V.V., Rybolovlev V.Yu., Krasnobaev A.V., Onorin O.P., Kosachenko I.E. *Model'nye sistemy podderzhki priinyatiya reshenii v ASU TP domennoi plavki metallurgii* [Model support entity of decision-making in automatic process control system of blast-furnace metallurgy]. Ekaterinburg: UrFU, 2011. 462 p. (In Russ.).
2. Onorin O.P., Spirin N.A., Terent'ev V.L. etc. *Komp'yuternye metody modelirovaniya domennogo protsessa* [Computer modeling techniques blast furnace process]. Ekaterinburg: izd. UGTU–UPI, 2005. 301 p. (In Russ.).
3. Feng Q., Wang L. Blast furnace hoist charging control system based on ActiveX technology. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies; Wuhan; China; 7 May 2013 through 8 May 2013*. Vol. 46 V. 2, 2014, pp. 1853–1858.

4. Dimitrov B.H., Nenov H.B., Marinov A.S. Comparative analysis between methodologies and their software realizations applied to modeling and simulation of industrial thermal processes. *36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2013; Opatija; Croatia; 20 May 2013 through 24 May 2013*. Article number 6596383, pp. 891–895.
5. *New process-control computer-system for the blast-furnace plant of an integrated iron and steel works* / Bartels R., Dohl Kw., Uhde H., Schroder A., Stumpe W. *Stahl Und Eisen*. 1994. Vol. 114. Issue 6, pp. 75–79.
6. Odintsov I.O. *Professional'noe programmirovaniye. Sistemnyi podkhod* [Professional programming. System approach]. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2004. 624 p. (In Russ.).
7. Troelsen Andrew. *Pro C# 5.0 and the .NET 4.5 framework*. 6th edition, Apress, 2012, 1560 p. (Russ.ed.: Troelsen A. *Yazyk programmirovaniya C# 5.0 i platforma .NET 4.5*. 6-e izd., per. s angl. Moscow: OOO "I.D. Vil'yams", 2013. 1311 p.).
8. Date C.J. *Introduction to Database Systems*. Addison-Wesley, 2004, 1024 p. (Russ.ed.: Date C.J. *Vvedenie v sistemy baz dannykh*. Moscow: Vil'yams, 2006. 1328 p.).
9. Spirin N. A., Lavrov V. V., Burykin A. A., Rybolovlev V. Yu., Krasnobaev A. V., Kosachenko I. E. Complex of model systems for supporting decisions made in managing blast-furnace smelting technology. *Metallurgist*, 2011, Vol. 54, no. 9–10, pp. 566–569.
10. Spirin N.A., Lavrov V.V., Rybolovlev V.Yu. etc. *Matematicheskoe modelirovaniye metallurgicheskikh protsessov v ASU TP: uchebnoye posobie* [Mathematical modeling of metallurgical processes in ACS: Manual]. Spirin N.A. ed. Ekaterinburg: UrFU, 2014, 558 p. (In Russ.).

Received April 10, 2015