

УДК 669.162.263

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА ОТКЛОНЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ОТ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА

Истомин А.С.¹, аспирант кафедры теплофизики и информатики в металлургии

*Спиринов Н.А.¹, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплофизики
и информатики в металлургии (n.a.spirin@ustu.ru)*

Онорин О.П.², к.т.н., доцент

Павлов А.В.³, зам. главного металлурга

Гурин И.А.¹, студент кафедры теплофизики и информатики в металлургии

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

²ОАО «Уральский институт металлов»

(620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 14)

³ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

(455019, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93)

Аннотация. Представлены этапы разработки информационно-логической системы, позволяющей распознать вид отклонения доменной плавки от нормального режима. Для этого проведено исследование влияния параметров хода доменной плавки на вероятность возникновения отклонения от нормального режима. Разработаны функциональная модель информационной системы, состоящая из 94 декомпозированных блоков, и трехкомпонентная масштабируемая расширяемая архитектура программного обеспечения, состоящая из блока работы с базами данных, математической библиотеки и графического интерфейса пользователя. Полученный программный продукт позволяет оперативно выявлять наличие отклонения от нормального хода плавки, определять его тип по фактическим данным работающей печи и принимать меры для ликвидации отклонений. Отражены функциональные возможности программного обеспечения и результаты тестовых испытаний для управления доменной плавкой на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Ключевые слова: доменное производство, информационно-логическая система, разработка программного обеспечения, диагностика хода доменной плавки.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-8-607-611

Современный процесс выплавки чугуна в доменной печи подвержен влиянию многих переменных контролируемых и неконтролируемых факторов, которые вызывают нарушения хода печи и ее теплового состояния и требуют высокой квалификации технологического персонала при управлении доменной плавкой.

Одним из способов диагностики и управления ходом доменной печи в настоящее время является использование экспертных систем, включающих в себя как детерминированные знания о процессе, так и формализованный практический опыт специалистов-доменщиков. В общем случае такие системы должны иметь навыки суждений о ходе доменной плавки по различным признакам, правильно анализировать их и помогать производственному персоналу своевременно предупреждать возможные отклонения от нормального режима, применяя различные технологические приемы воздействия на ход доменной плавки. Для этих целей существует множество математических моделей, но в большинстве случаев их основной проблемой является недостоверность значений входящих в них параметров.

До сих пор актуальными остаются вопросы создания информационно-логической системы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима. Логические основы распознавания вида отклонения от нормального режима доменной плавки изложены в работах [1 – 14].

Для анализа данных, необходимых для выявления расстройства хода печи, требуется в комплексе рассмотреть показатели плавки и работу печи в целом. Делая вывод на основе данных о химическом составе газа, качестве материалов, тепловом состоянии печи и о других сведениях об условиях плавки, необходимо выявить основные факторы и увязать их с изменениями технологических параметров.

Целью контроля над ходом доменной печи является своевременное принятие мер для установления причин расстройства печи и восстановления нормального хода в максимально короткие сроки. Поэтому главной задачей является предупреждение нарушений и наиболее быстрое восстановление нормальной работы печи в случае их возникновения.

Разработанный программный продукт проводит анализ работы печи по таким параметрам, как температура периферийных газов, температура газов по газотводам печи, параметры дутья, колошникового газа и перепады давления, а также распределение температур по диаметру колошника и состав продуктов доменной плавки. На основе значений этих параметров проводится расчет, результатом которого является вывод о состоянии хода печи и в случае отклонения – о возможной причине нарушения хода.

Программа предназначена для оперативного предоставления производственному персоналу полного объема информации о ходе процесса плавки. Ее использование позволит упростить управление технологическим процессом, повысить эффективность производства, уменьшить вероятность простоев оборудования и аварий.

Первым этапом в разработке программного продукта было создание функциональной модели. Ее разработка была выполнена в программе AllFusion Process Modeler (BPwin) по стандарту IDEF0 (Integrated computer aided manufacturing DEfinition) [15]. Использование методики IDEF0 позволило создать функциональную структуру программного комплекса, выявить производимые им 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.

Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели составляет 90. Фрагмент диаграммы 1-го уровня функциональной модели подсистемы прогнозирования возникновения отклонений в ходе доменной плавки, представленный на рис. 1, включает следующие функции:

- «Осуществить сбор и первичную обработку данных» (A1) – обеспечивает автоматическое

наполнение системы данными из АСУ ТП и корпоративной информационной системы (КИС). Сбор первичных данных производится в строго регламентированные моменты времени, которые установлены согласно требованиям инженерно-технологического персонала доменного цеха. Выходная информация служит источником для всех других подсистем.

- «Выявление признаков нормальной работы доменной печи» (A2) – обеспечивает пересчет и анализ признаков отклонения параметров: отклонение расхода дутья; отклонение давления дутья; отклонение температуры дутья; отклонение общего перепада давления; отклонение нижнего перепада давления; отклонение верхнего перепада давления; окружная неравномерность температуры газа; распределение температуры колошникового газа; отклонение усредненной температуры колошникового газа; отклонение содержания кремния в чугуне; отклонение содержания диоксида углерода колошникового газа; отклонение температуры чугуна; отклонение основности шлака.
- «Определить признаки отклонения от нормального режима доменной плавки» (A3) – обеспечивает пересчет и анализ таких отклонений, как периферийный газовый поток; центральный газовый поток; горячий ход плавки; холодный ход плавки; тугой ход плавки; верхние подвисания шихты; нижние подвисания шихты; количество срабатываемых подач.
- «Формирование рекомендаций по технологиям ведения доменной плавки» (A4) – на основании выявленных отклонений происходит формирование рекомендаций по корректировке ведения плавки.

Результаты функционального моделирования позволили в дальнейшем перейти к следующим этапам

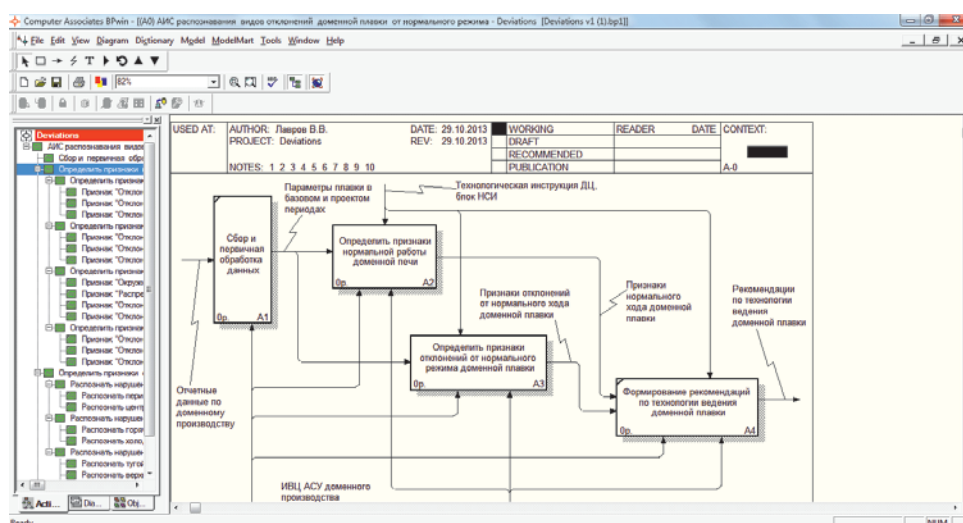


Рис. 1. Первый уровень функциональной модели информационной системы по распознаванию видов отклонений доменной плавки

Fig. 1. The first level of the functional model of an information system for the recognition of blast furnace deviation kinds

разработки системы – созданию архитектуры и реализации программного обеспечения системы.

На рис. 2 продемонстрирована архитектура программного обеспечения информационной системы, в которой выделены основные компоненты ее программной реализации.

Архитектуру программного продукта условно можно разделить на несколько частей. Первая представляет собой математическую библиотеку на основе проведенных и формализованных расчетов. Используя предварительно обработанный набор данных, расчетный модуль выполняет начальную стадию вычислений, суть которой заключается в том, чтобы проанализировать максимум параметров, влияющих на возможность того или иного нарушения процесса плавки, а затем выполняет финальный расчет, на основании которого можно будет сделать вывод о наметившейся тенденции к определенному типу отклонения хода плавки. Вторая часть – это модуль, ответственный за работу с базой данных; он решает такие задачи, как обеспечение приложения данными в режиме реального времени, фильтрацию данных, их усреднение и предоставление в том виде, в котором их можно было бы использовать в алгоритме. Другая часть представляет собой пользовательский интерфейс, который включает в себе основные функции для слежения за состоянием хода доменной печи. На текущий момент эта часть реализована в виде настольного приложения, однако благодаря такому архитектурному подходу в любой момент презентационная логика может быть легко реализована, например в виде web-приложения или службы, уведомляющей о состоя-

нии печи посредством мобильных устройств.

Программное обеспечение «Распознавание вида отклонений доменной плавки» разработано в соответствии с современными принципами построения прикладных программ (функциональность, расширяемость, интеграция с базами данных, интуитивно-понятный пользовательский интерфейс, безопасность, оценивание информации). Программный модуль является частью системы оптимизации технологического процесса доменной плавки, входит в состав автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «ММК» и предназначен для инженерно-технологического персонала.

В основе программной реализации лежит технология .NET, что дает дополнительную свободу при выборе платформы, а также языка программирования. Программный продукт написан на языке C# с использованием среды разработки Microsoft Visual Studio 2012 [16].

Программный продукт производит следующие действия. Сначала программа загружает из базы данных значения параметров, используемых в расчете, в частности, температуру газов по газоотводам печи, температуру периферийных газов, параметры дутья, параметры колошниковога газа и перепады давления, распределение температур по диаметру колошника, состав жидких продуктов доменной плавки. Далее используется созданная математическая библиотека, с помощью которой пересчитываются и анализируются значения признаков и весовых функций.

Для удобства использования рассматриваемые при-

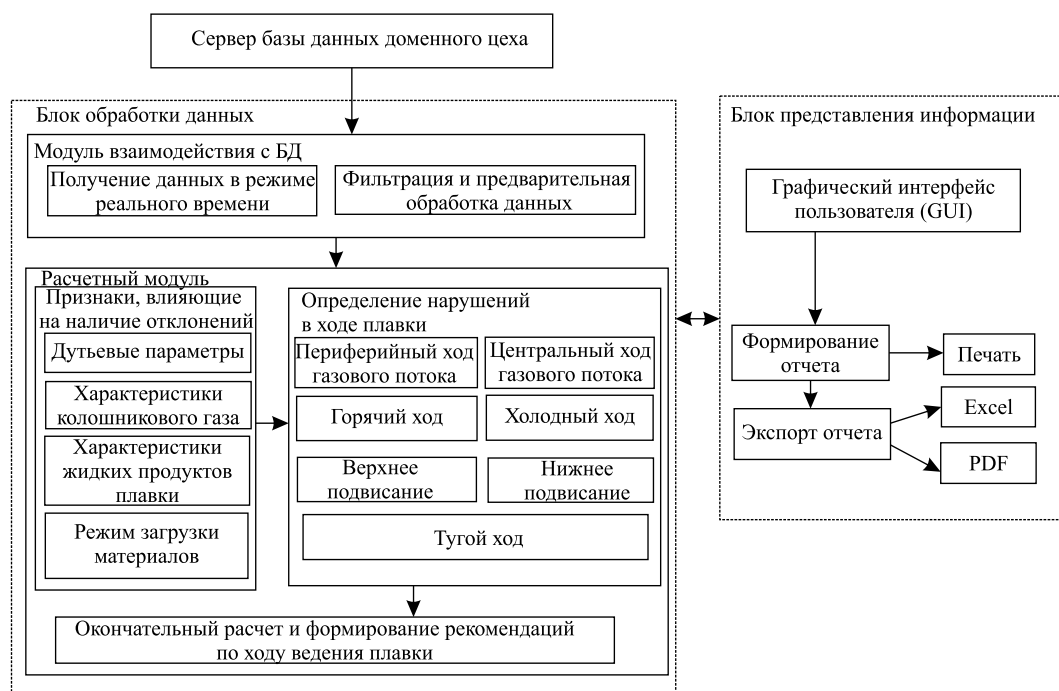


Рис. 2. Архитектура программного обеспечения

Fig. 2. Application architecture

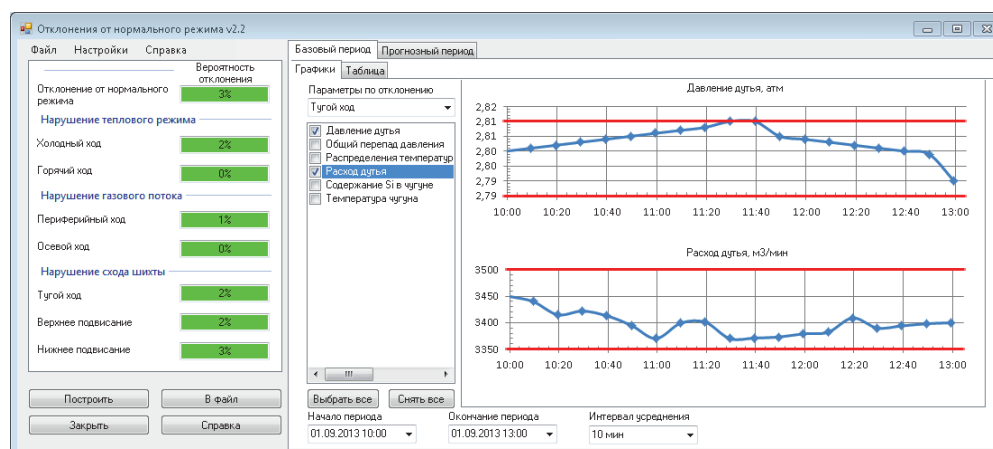


Рис. 3. Фрагмент окна программного обеспечения для распознавания вида отклонений доменной плавки от нормального режима

Fig. 3. Window fragment of application for recognition of blast furnace deviation kinds from normal mode

знаки объединены в следующие группы:

- признаки, характеризующие дутьевые параметры;
- колошниковый газ;
- жидкие продукты плавки;
- режим загрузки материалов.

Программа производит расчет весовых функций для распознавания вероятности:

- нормального режима работы доменной печи;
- нарушения устойчивости газового потока (наличие периферийного или центрального газового потока);
- нарушение теплового режима доменной плавки (горячий или холодный ход);
- нарушение ровного схода шихты в доменной печи (тугой ход, верхнее или нижнее подвисяние шихты).

Результат вычисления весовых функций, свидетельствующий о вероятности наличия или отсутствия соответствующих отклонений в ходе доменной плавки, предоставляется пользователю в численном и графическом видах.

В качестве примера на рис. 3 представлено главное окно программы, в котором отражено состояние работы доменной печи. При анализе учитываются три типа нарушений: нарушения теплового режима, нарушения газового хода и нарушения режима схода шихты. Для каждого из отклонений указано его состояние, а также есть возможность предоставления подробной информации по отклонению. На форме, изображенной на рис. 3, в виде графиков показана информация о параметрах, влияющих на вероятность возникновения определенного отклонения.

Выводы. Разработанный программный продукт позволяет пользователю оперативно выявлять наличие отклонения от нормального хода плавки и определять его тип по фактическим данным работающей печи, предоставляет ему возможность в любой момент просмотреть графическую информацию по каждому из параметров, используемых при расчете отклонений. Использование

информационно-логической системы помогает производственному персоналу осуществлять диагностику хода печи в режиме реального времени, а также решать оперативные задачи управления технологией доменной плавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев В.И., Краснобаев В.А., Сарапулов Ю.А., Павлов Е.А. Экспертная система для диагностики и регулирования хода доменной печи. Труды Международной научно-технической конференции «Теория и практика производства чугуна», Украина, Кривой Рог, 24 – 27 мая 2004 г. – Кривой Рог: изд. Криворожского гос. университета, 2004. С. 484 – 487.
2. Френкель М.М., Федулов Ю.В., Белова О.А., Краснобаев В.А. Экспертная система управления ходом доменной плавки // Сталь. 1992. № 7. С. 15 – 18.
3. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов и др.; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
4. 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: изд. УрФУ, 2011. – 462 с.
5. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев и др.; Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
6. Юсфин Ю.С. Металлургия чугуна. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
7. Blast furnace Phenomena and modelling / Yasuo Omori ed. Elsevier applied science. – London and New York, 1987. – 631 p.
8. Lida O., Taniyochi S., Hetani T. Application of a techniques to blast furnace operation // Kawasaki Steel Techn Dept. 1992, no. 26. P. 30 – 37.
9. Power D.J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems. Long Beach, California, 2000.
10. Vapaavuori E. Application of expert systems and knowledge based systems to support operation of iron blast furnace // Expert systems with applications, 1997. Vol. 12, no. 3, pp. II.
11. Ueda S., Natsui S., Ariyama T., Nogami H., Yagi J.I. Recent progress and future perspective on mathematical modelling of blast furnace // ISIJ International, 2010. Vol. 50, no. 7, pp. 914 – 923.
12. Matsuzaki S., Nishimura T., Shinotake A., Kunitomo K., Naito M., Sugiyama T. Development of mathematical model of blast furnace // Nippon steel technical report, July 2006, no. 94, pp. 87 – 95.

13. Hera P., Birlan F., Oprescu I., Alexandru E.-M., Hera M. Modeling of metallurgical continuous processes in the blast furnace // U.P.B. Scientific Bulletin, Series B, 2011. Vol. 73. Issue. 4, pp. 171 – 182.
14. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев и др. – Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
15. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с СА ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler). – М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 384 с.
16. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. 6-е изд., пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 1312 с.

Поступила 14 мая 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 8, pp. 607–611.

DEVELOPMENT OF INFORMATION-LOGICAL SYSTEM OF RECOGNITION OF DEVIATIONS FOR BLAST FURNACE PRODUCTION FROM NORMAL MODE

Istomin A.S.¹, Postgraduate of the Chair “Thermophysics and Informatics in Metallurgy”

Spirin N.A.¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor Head of the Chair “Thermophysics and Informatics in Metallurgy” (n.a.spirin@ustu.ru)

Onorin O.P.², Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Chief Researcher

Pavlov A.V.³, Deputy of General Metallurgist

Gurin I.A.¹, Student of the Chair “Thermophysics and Informatics in Metallurgy”

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

² JSC “Ural Institute of Metals” (14, Gagarin str., Ekaterinburg, 620219, Russia)

³ JSC “Magnitogorsk Metallurgical Plant” (93, Kirov str., Magnitogorsk, 455019, Russia)

Abstract. The article presents the development of information-logical system that allows the recognition of blast furnace deviation kinds from the normal mode. The effect of melting course parameters of blast furnace at the risk of deviations from normal operation has been investigated. A functional model of information system, consisting of 94 decomposed blocks, as well as a three-component extensible, scalable software architecture, consisting of a unit of work with databases, mathematical libraries and a graphical user interface have been developed. The resulting software allows detecting operatively the presence of deviations from the normal course of melting, determining its type on the actual data of the operation furnace and taking actions to eliminate these deviations. The functionality of the software and the results of the tests for managing blast furnace at JSC “Magnitogorsk iron and steel works” were described.

Keywords: blast-furnace production, information-logical system, software development, diagnostics progress of blast-furnace production.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-8-607-611

REFERENCES

1. Solov'ev V.I., Krasnobaev V.A., Sarapulov Yu.A., Pavlov E.A. *Ekspertnaya sistema dlya diagnostiki i regulirovaniya khoda domennoi pechi* [Expert system for the diagnostics and regulation of a blast-furnace process]. In: *Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Teoriya i praktika proizvodstva chuguna», Ukraina, Krivoi Rog, 24 – 27 maya 2004 g.* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Theory and practice of cast-iron production», Ukraine, Krivoi Rog, May, 24 – 27, 2004]. Krivoi Rog: izd. Krivorozhskogo gos. universiteta, 2004, pp. 484–487. (In Russ.).
2. Frenkel' M.M., Fedulov Yu.V., Belova O.A., Krasnobaev V.A. Expert system of blast-furnace melting process control. *Stal'*. 1992, no. 7, pp. 15–18. (In Russ.).
3. Spirin N.A., Ipatov Yu.V., Lobanov V.I. etc. *Informatsionnye sistemy v metallurgii* [Information systems in metallurgy]. Spirin N.A. ed. Ekaterinburg: izd. UGTU–UPI, 2001. 617 p. (In Russ.).
4. Spirin N.A., Lavrov V.V., Rybolovlev V.Yu., Krasnobaev A.V., Onorin O.P., Kosachenko I.E. *Model'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenii v ASU TP domennoi plavki metallurgii* [Model system of decision-making support in automatic control system of technological processes of blast-furnace melting in metallurgy]. Spirin N.A. ed. Ekaterinburg: izd. UrFU, 2011. 462 p. (In Russ.).
5. Onorin O.P., Spirin N.A., Terent'ev V.L. etc. *Komp'yuternye metody modelirovaniya domennogo protsessa* [Computer methods of blast-furnace process modeling]. Spirin N.A. ed. Ekaterinburg: izd. UGTU–UPI, 2005. 301 p. (In Russ.).
6. Yusfin Yu.S. *Metallurgiya chuguna* [Cast iron metallurgy]. Moscow: IKTs Akademkniga, 2004. 774 p. (In Russ.).
7. *Blast furnace Phenomena and modeling*. Yasuo Omori ed. Elsevier applied science. London and New York, 1987. 631 p.
8. Lida O., Taniyochi S., Hetani T. Application of techniques to blast furnace operation. *Kawasaki Steel Techn Dept.* 1992, no. 26, pp. 30–37.
9. Power D.J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. *Americas Conference on Information Systems*. Long Beach, California, 2000.
10. Vapaavuori E. Application of expert systems and knowledge based systems to support operation of iron blast furnace. *Expert systems with applications*, 1997. Vol. 12, no. 3, pp. 11.
11. Ueda S., Natsui S., Ariyama T., Nogami H., Yagi J.I. Recent progress and future perspective on mathematical modelling of blast furnace. *ISIJ International*, 2010. Vol. 50, no. 7, pp. 914–923.
12. Matsuzaki S., Nishimura T., Shinotake A., Kunitomo K., Naito M., Sugiyama T. Development of mathematical model of blast furnace. *Nippon steel technical report*, July 2006, no. 94, pp. 87–95.
13. Hera P., Birlan F., Oprescu I., Alexandru E.-M., Hera M. Modeling of metallurgical continuous processes in the blast furnace. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series B*, 2011. Vol. 73. Issue. 4, pp. 171–182.
14. Emel'yanov S.V., Korovin S.K., Myshlyaev L.P., Rykov A.S., Evtushenko V.F., Kulakov S.M., Bondar' N.F. *Teoriya i praktika prognozirovaniya v sistemakh upravleniya* [Theory and practice of forecasting in control systems]. Kemerovo, Moscow: Izdat. ob'edinenie “Rossiiskie universitety”, Kuzbassvuzizdat, ASTSh, 2008. 487 p. (In Russ.).
15. Dubeikovskii V.I. *Effektivnoe modelirovanie s CA ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler)* [Effective modeling with CA ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler)]. Moscow: Dialog-MIFI, 2009. 384 p. (In Russ.).
16. Troelsen Andrew. *Pro C# 5.0 and the .NET 4.5 framework*. 6th edition, Apress, 2012, 1560 p. (Russ.ed.: Troelsen A. *Yazyk programirovaniya C# 5.0 i platforma .NET 4.5*. 6-e izd., per. s angl. Moscow: ООО “I.D. Vil'yams”, 2013. 1312 p.).

Received May 14, 2014