

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.162.263

В.Ю. Рыболовлев¹, В.В. Лавров², А.В. Краснобаев¹, Н.А. Спиринов²

¹ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

²Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ДОМЕННОГО ЦЕХА НА ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

Использование современных информационных технологий в практике работы металлургических предприятий является одним из важнейших способов повышения эффективности технико-экономических показателей работы. В то же время риски от принятия необоснованных управленческих решений с учетом относительно больших объемов потребляемых сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, а также выпускаемой продукции резко возрастают. В этой связи возникает необходимость создания программно-аппаратных комплексов, позволяющих инженерно-технологическому персоналу 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 [1 – 3].

На ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» совместно с кафедрой «Теплофизика и информатика в металлургии» Уральского федерального университета осуществляется разработка и поэтапный ввод в эксплуатацию автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ) [4]. Работа направлена на повышение эффективности управления комплексом доменных печей.

Как показывает опыт разработки информационных систем, создание систем подобного масштаба на первоначальном этапе требует проведения функционального моделирования. В связи с этим разработана функциональная структура системы, выделены основные блоки (подсистемы), осуществляющие функции сбора данных, формирования отчета, визуализации, сопоставления данных, а также блоки системы поддержки принятия решений и прогнозирования технологических ситуаций. Разработка функциональной модели системы проведена на основе известной методологии IDEF0 [5].

Декомпозиция модели произведена до 5-го уровня, общее количество декомпозированных блоков функциональной модели АИС АППС ДЦ составляет свыше 150.

На основе результатов функционального моделирования разработана общая функциональная структура системы, которая включает в себя ряд подсистем (рис. 1).

Структура подсистемы сбора данных (ПСД) представлена на рис. 2. Центральным звеном ее является база данных информационно-вычислительного центра доменного цеха, которая наполняется данными из нескольких источников: SCADA комбината, серверов корпоративной информационной системы, центральной диспетчерской комбината. Одной из задач создания такой подсистемы является интеграция ее данных в существующую информационную структуру комбината.

В зависимости от запросов отдельных подсистем АИС АППС ДЦ возможно реализовать различные интервалы усреднения данных, хранящихся в базе, с помощью механизмов СУБД. Разработанная структура ПСД обеспечивает требуемую функциональность, полный охват предметной области, относительно простое расширение и изменение системы, возможность автономной реализации отдельных программных модулей и их независимость от структуры хранения данных. Основная функция подсистемы – накопление данных. Одним из основных компонентов ПСД является централизованная база данных, которая служит источником информации для всех подсистем АИС АППС ДЦ. Поэтому в первую очередь осуществлялась детальная разработка концептуальной и логической структуры базы данных, ее инфологическое моделирование, для чего использовались современные методы проектирования, язык ER-диаграмм и другие инструменты [5, 6].

В дальнейшем сформулированы принципы построения, разработана структура и осуществлено инфологическое моделирование подсистем визуализации, формирования технического отчета и сопоставительного анализа показателей работы доменных печей с исполь-



Рис. 1. Функциональная структура АИС АППС ДЦ:

☐ – источники данных; ○...○ – пользователи отображаемых данных (персонал цеха)

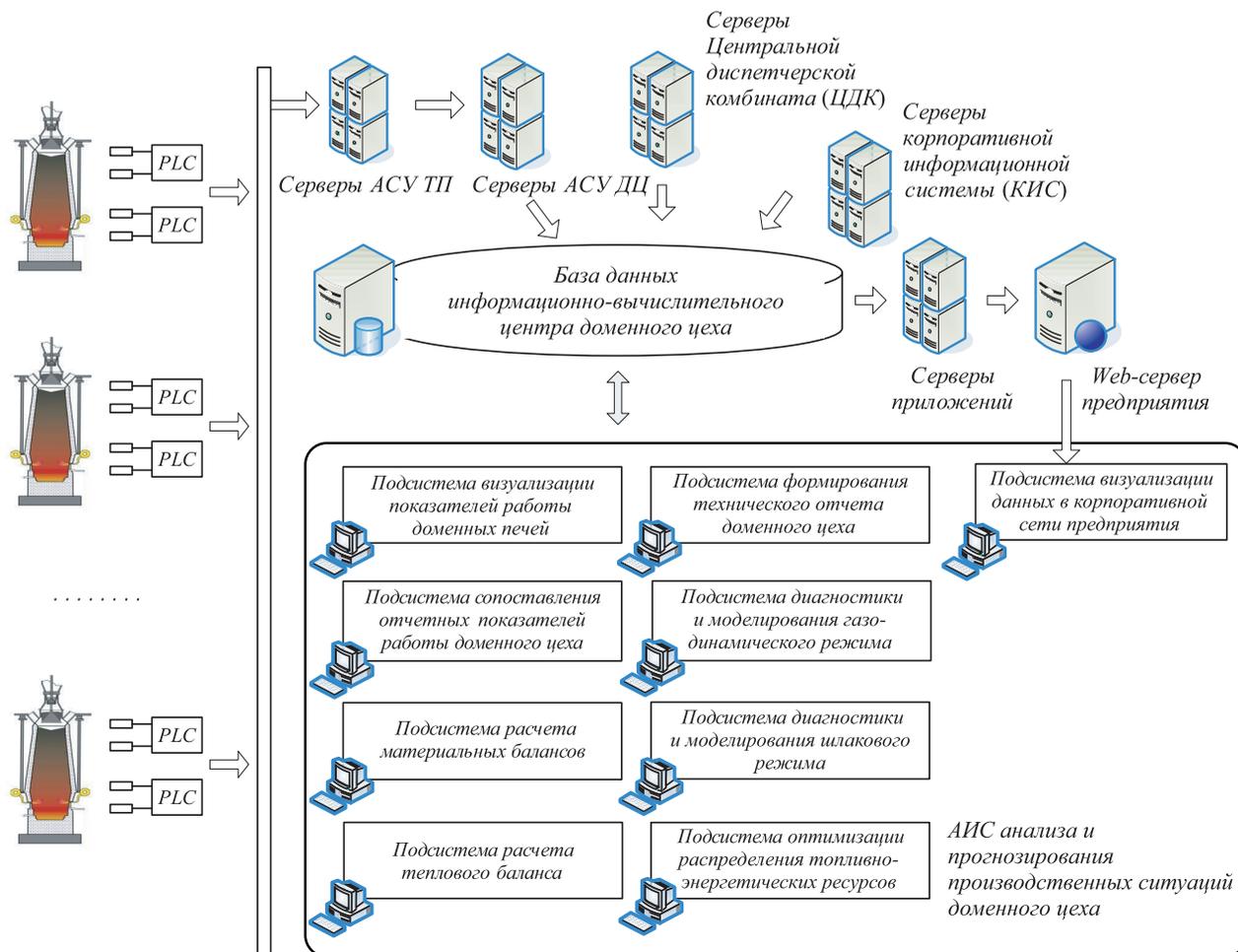


Рис. 2. Структура подсистемы сбора данных для АИС АППС ДЦ

зованием современных CASE-средств проектирования. Создан комплекс внешних моделей в виде набора взаимосвязанных ER-диаграмм, моделирующих сущностный и атрибутивный состав базы данных доменного производства. База данных разработана таким образом, что с ней могут взаимодействовать все подсистемы АИС АППС ДЦ.

Подсистема визуализации обеспечивает (по запросу пользователя) отображение на бланке или экспорт в виде отчетных файлов сведений о динамике одного или нескольких показателей в течение заданного временного периода (смены, сутки). Выбор показателя производится из списка, который загружается из блока нормативно-справочной информации (НСИ) базы данных АСУ аглодоменного производства и сохраняется локально на рабочем компьютере пользователя в виде файла конфигурационных параметров. Показатели работы доменных печей отображаются с учетом их объема в следующие группы (категории):

- параметры шихты;
- жидкие продукты плавки;
- параметры дутья;
- параметры колошниковога газа;
- комплексные показатели.

В каждой категории выделены фактические и расчетные значения показателей. Процедура визуализации позволяет отобразить изменения данных за выбранный пользователем период в двух вариантах: динамика всех доступных показателей для отдельной доменной печи; динамика одного выбранного показателя для всех доменных печей.

Основным отчетным документом о работе доменного цеха является технический отчет. В связи с этим разработана и введена в эксплуатацию подсистема *формирования технического отчета* (подсистема ФТО) [4], которая является своего рода информационным базисом для разных систем поддержки принятия решений. У пользователя имеется возможность выбрать в качестве отчетного периода либо месяц, либо период с начала года. Также есть возможность просматривать динамику любого из 200 показателей технического отчета для любой доменной печи или цеха за произвольный месяц работы. В соответствии с функцией регистрации прав в специальном модуле настройки конкретный пользователь видит только ту часть сведений, которая для него разрешена. Результатом работы подсистемы ФТО является технический отчет, который содержит в базе данных не только результаты измерений, но и расчетные показатели, которые используются в других подсистемах.

Анализ требований инженерно-технологического персонала доменного цеха показал, что для эффективного управления его работой необходимо построить несколько моделей работы доменных печей: материального баланса; теплового баланса; шлакового режима; газодинамического режима, а также модель распределения топливно-энергетических ресурсов между печами.

Основной принцип, положенный в основу *подсистемы диагностики теплового, шлакового и газодинамического режимов работы доменных печей и прогнозирования технологических ситуаций*, – это принцип натурно-математического моделирования [1 – 3]. Модель условно можно разделить на две части – модель базового состояния и прогнозирующая модель.

Модель базового (эталонного) состояния позволяет оценивать состояние процесса по усредненным показателям за базовый (эталонный) период работы печи. Базовый период (аналог-стандарт) служит базой сравнения при анализе и обобщении фактических показателей работы отдельных доменных печей и цехов. Информация о работе печей в базовом периоде необходима для корректировки (актуализации) математической модели, учитывающей изменение условий работы печей и их свойств. При этом используется фактически доступная информация о работе печей: оценки параметров шихты, комбинированного дутья, колошниковога газа, продуктов плавки и др.

Прогнозирующая модель, использующая данные, полученные с помощью модели базового (эталонного) состояния, позволяет оценить показатели доменного процесса в случае изменения (по отношению к базе) видов и свойств железорудного сырья, флюсов, дутьевых параметров.

Алгоритм моделирования свойств первичного шлака включает блоки:

- определения температур начала плавления и конца размягчения железорудных материалов, толщины зоны вязкопластичного состояния материалов;
- расчета изменений количества и состава первичного шлака по высоте зоны вязкопластичного состояния материалов;
- расчета изменения вязкости первичного шлака по высоте зоны вязкопластичного состояния материалов.

Перечисленные блоки позволяют определять температурный интервал и толщину зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов; изменение состава первичного шлака в зоне вязкопластичного состояния железорудных материалов; изменение вязкости по толщине зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов [1, 2].

Модель оценки свойств конечного шлака включает следующие расчетные блоки: определения выхода, состава и политермы вязкости конечного шлака; расчета десульфурисующей способности шлака и содержания серы в чугуна; диагностики шлакового режима.

Модель газодинамического режима доменной плавки позволяет оценить влияние параметров дутья и загружаемой шихты на перепад давления в доменной печи [1, 2]. В основе моделирования процессов газодинамики лежит общеизвестное линеаризованное уравнение Эгона, позволяющее оценить влияние па-

раметров потоков шихты, газа, расплава на характер взаимодействия между этими потоками. В качестве показателя предельной степени форсировки доменной плавки дутьем служит степень уравнивания (СУ) шихты газовым потоком. Расчет изменения производительности печи в прогнозном периоде осуществляется исходя из условия сохранения СУ шихты на прежнем уровне или с учетом предельной степени форсировки доменной плавки дутьем. При этом расчет выполняется с учетом изменения свойств шихтовых материалов и расплава. Реализованная подсистема оценки газодинамического режима доменной плавки позволяет расчетным путем на основе данных о работе печи получить зависимость перепада давления от дутья как в базовом периоде, так и в проектном. Есть возможность рассчитать ряд показателей, в том числе критическое количество дутья для предельной степени уравнивания, скорости фильтрации по высоте печи и другие как в базовом, так и в проектном периодах работы доменной печи.

Подсистема расчета общего теплового баланса доменной плавки позволяет наглядно отразить результат тепловой работы доменной печи. Этот баланс дает общую картину как приходной, так и расходной частей баланса, что позволяет выполнить обоснованный анализ тепловой работы печи и сделать конкретные выводы о возможности сокращения удельного расхода кокса при производстве чугуна.

Подсистема оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов (подсистема РТР) предназначена для решения задачи распределения инжектируемого топлива и технологического кислорода между печами доменного цеха. При постановке задачи оптимизации в зависимости от конкретных условий работы цеха могут задаваться различные цели, в частности, достижение максимального экономического эффекта от использования комбинированного дутья, максимальной экономии кокса и т.д. В силу невозможности создания полной математической модели, учитывающей все сложности и аспекты доменного процесса, наиболее пригодным для решения задачи анализа показателей работы печи оказалось совместное использование натурно-математического моделирования и эвристического (экспертного) оценивания. При таком подходе основой подсистемы РТР являются натурные (реальные) объекты в их тесном сопряжении с математическими моделями, описывающими только основные явления доменного процесса, а отдельные параметры, не поддающиеся строгой формализации, задаются методом экспертного оценивания. В подсистеме РТР учитываются различные виды ограничений на работу цеха в целом (т.е. связанные с лимитированием имеющихся ресурсов по природному газу, кислороду, коксу, с необходимостью выполнения плана по выплавке чугуна), а также технологические, индивидуальные для каждой печи в отдельности (обусловленные различием конструктивных

и режимных параметров каждой из печей цеха). При определении основных ограничений использовалось физическое обоснование и классификация лимитирующих факторов при инжекции топлив и обогащении дутья кислородом, основанных на закономерностях тепло- и массообмена, газодинамики в современной доменной плавке. Разработанное программное обеспечение подсистемы РТР позволяет решать задачи оптимального распределения природного газа и технологического кислорода в следующих технологических ситуациях [1, 7]:

- в случае изменения свойств проплавляемого сырья, режимных параметров работы печей, входящих в рассматриваемую группу;
- при сохранении и изменении объема ресурсов по расходу природного газа и (или) технологического кислорода в целом для цеха;
- при изменении задания на объем выплавляемого чугуна комплексом доменных печей и ресурса по объему кокса;
- при изменении конъюнктуры рынка, т.е. требований обеспечения максимума экономии кокса, обеспечения максимума производства, экономичности работы комплекса печей, цен на топливно-энергетические ресурсы и т.п.

Подсистема формирования отчетных показателей работы доменного цеха в корпоративной сети комбината основана на использовании системы управления базами данных Microsoft SQL Server и встроенного в нее инструмента Reporting Services [8]. Подсистема включает в себя набор интерактивных отчетов (шаблонов), которые позволяют отображать в численном и графическом виде свыше 200 показателей работы всех доменных печей комбината за произвольный период их работы [1, 9]. Инструментарий Reporting Services включает средства просмотра отчетов, которые работают с обычным браузером. Эти средства отображения обеспечивают высококачественную презентацию каждого отчета на языке разметки DHTML (динамический HTML). Доступ к серверу отчетов определяется настройками безопасности, которые осуществляет администратор базы данных Центра АСУ аглодомного производства. Дополнительные возможности доставки отчетов пользователям предоставляются с помощью процедур подписки на отчет (в этом случае он будет автоматически получать отчет через заданный период времени по электронной почте). Reporting Services будет отправлять копию отчета в виде присоединенных файлов в электронном письме каждому подписчику в определенное время.

Пользователю предоставляется возможность интерактивного выбора из списков параметров (показателей) для разных доменных печей. При этом указанные параметры настроены по технологии «множественный выбор» (multi-value), что позволяет выводить на график несколько графических трендов для визуального

сравнения характера динамики изменения параметров. Настройку начала и окончания временного периода для отображения показателей пользователь может осуществить по календарю. Наглядность представления графических трендов достигается благодаря дополнительным функциональным возможностям системы: наличие средств автоматического масштабирования численных показателей и временной шкалы, пояснение трендов в виде легенды, динамическое масштабирование изображения, поиск символьных обозначений на листе отчета и пр.

Помимо графических трендов, система позволяет отобразить отчетные показатели работы доменных печей и цеха в табличном виде. После выбора соответствующего показателя в окне браузера отобразится отчет, включающий в себя таблицу с набором интерактивных элементов управления. С помощью представленных элементов управления пользователь может изменять форму отчета: выбирать отчетные годы, месяцы и перечень доменных печей. В таблице расположены интерактивные списки, благодаря которым возможно скрывать/отображать численные значения величин по отдельным годам. Итоговый вид отчета также можно экспортировать в форматы документов, с помощью которых можно будет передать отчет конечному пользователю.

Выводы. На основе современных ИТ-инструментов разработана и сдана в опытно-промышленную эксплуатацию система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», которая предоставляет в распоряжение инженерно-технологического персонала современный информационный сервис для оперативного анализа отчетных показателей

работы. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологического персоналу оперативно проводить оценку производственных ситуаций доменных печей, решать задачи управления технологией выплавки чугуна, 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. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. Под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УрФУ, 2011. – 462 с.
2. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Оворин, Н.А. Спиринов, В.Л. Терентьев и др. Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УГТУ – УПИ, 2005. – 301 с.
3. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спиринов, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов и др. Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УГТУ – УПИ, 2001. – 617 с.
4. Лавров В.В., Спиринов Н.А., Бурыкин А.А., Краснобаев А.В. // Сталь. 2010. № 1. С. 17 – 21.
5. Одиноков И.О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
6. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1328 с.
7. Лавров В.В., Спиринов Н.А., Бабин И.А. и др. // Сталь. 2008. № 4. С. 10 – 14.
8. Ларсон Б. Microsoft SQL Server 2005 Reporting Services. Традиционные и интерактивные отчеты. Создание, редактирование и управление. – М.: ИТ Пресс, 2008. – 608 с.
9. Лавров В.В., Спиринов Н.А., Бурыкин А.А., Краснобаев А.В. // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317. № 5. С. 68 – 73.

© 2012 г. В.Ю. Рыболовлев, В.В. Лавров,
А.В. Краснобаев, Н.А. Спиринов
Поступила 23 марта 2012 г.

УДК 669.046:62 – 503.5

**Л.П. Мышляев¹, В.Ф. Евтушенко¹, Д.Г. Березин¹,
Г.В. Макаров¹, К.А. Ивушкин²**

¹ Сибирский государственный индустриальный университет

² ООО «Сибшхтострой»

ПОНЯТИЯ И УСЛОВИЯ ПОДОБИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ*

Одной из важных практических задач исследования систем управления с использованием любого класса моделей управляемых объектов является задача переноса результатов этих исследований на натурные системы управления и их основные составляющие, включая и входные (контролируемые и неконтролируемые) воз-

действия. Такой перенос будет являться обоснованным, если доказано подобие систем управления натурным объектом и его моделью.

Понятие подобия модели и ее оригинала в свою очередь связано с понятием адекватности модели. В дальнейшем будем ориентироваться на те понятия, которые изложены в работе [1], где под подобием понимается соответствие между оригиналом и моделью, при котором известны правила перехода от параметров модели к параметрам объекта и наоборот, а математическое опи-

* Работа выполнена в рамках государственного задания № 7.4916.2011 Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательских работ.