

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология переработки природного газа и конденсата. Справочник / под ред. В.И. Мурина. — М.: ООО «Недра Бизнес-центр», 2002. — Ч. 1. — 517 с.
2. Иванов В.Г., Маслов А.С., Кравцов А.В., Ушева Н.В., Гавриков А.А. Повышение эффективности технологии промышленной подготовки газового конденсата // Газовая промышленность. — 2003. — № 7. — С. 54–57.
3. Сергеев О.А., Князев А.С., Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Рыжакина А.Н. Моделирование процессов отделения водометанольных растворов при промышленной подготовке газового конденсата // Газовая промышленность. — 2008. — № 4. — С. 24–27.
4. Шилов В.И., Крикунов В.В. Прогнозирование фазового состояния природных нефтегазовых систем // Нефтяное хозяйство. — 2002. — № 8. — С. 100–103.
5. Рид Р.С., Праусниц Д.М., Шервуд Т.К. Свойства газов и жидкостей. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.
6. Пергушев Л.П., Деникаев Р.Т. Расчет скорости транспортирования высокообводненной эмульсии по трубопроводу без её расслоения // Нефтепромысловое дело. — 2001. — № 12. — С. 23–31.
7. Лутошкин Г.С., Дунюшкин И.И. Сборник задач по сбору, подготовке нефти, газа и воды на промыслах. — М.: ООО ИД «АЛЪЯНС», 2007. — 132 с.
8. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Ануфриева О.В. Анализ влияния технологических параметров и оптимизация процессов низкотемпературной сепарации // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 315 — № 3. — С. 57–60.

Поступила 14.02.2011 г.

УДК 669.162.28

## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТЫ ДОМЕННОГО ЦЕХА

В.В. Лавров\*, Н.А. Спирин\*, А.А. Бурыкин\*, А.В. Краснобаев\*\*, Н.В. Новикова\*

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

\*\*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

E-mail: lv@tim.ustu.ru

Отражены технологические особенности применения методологии функционального моделирования IDEF0, использованные авторами в ходе создания автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

### Ключевые слова:

Функциональное моделирование, стандарт IDEF0, методология SADT, компьютерные системы поддержки принятия решений, доменное производство.

### Key words:

Functional modeling, Integrated computer aided manufacturing DEfinition, Structural Analysis and Design Technique, Software engineering decision support systems, blast furnace.

Одними из основных показателей качества программного обеспечения автоматизированных информационных систем, как известно, являются его функциональность и надежность [1]. Важнейшим этапом разработки, во многом определяющим требуемый уровень этих показателей, является этап анализа и проектирования функций, процессов взаимодействия в информационных системах.

В основу метода, использованного при проектировании функций автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», положены идеи и нотации стандарта IDEF0 (*Integrated computer aided manufacturing DEfinition*), который является развитием методики SADT (*Structural Analysis and Design Technique*) [2]. 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. Внешний вид контекстной диаграммы функциональной модели автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ) представлен на рис. 1.

На первом уровне функциональной модели выделены два основных потока *входной информации* в систему (*Input*): данные из систем АСУ ТП и корпоративной информационной системы (КИС), а также отчетные документы по производству. Конкретизация входных данных представлена на последующих этапах декомпозиции системы. *Интерфейс управления* (*Control*) разбит на четыре логических блока: совокупность документов (технологических инструкций, руководств пользователей); нормативно-справочной информации (НСИ); требований пользователей; описание математических моделей и алгоритмов анализа и прогнозирования работы доменных печей и цеха. Заметим, что под документами понимаются инструкции ведения

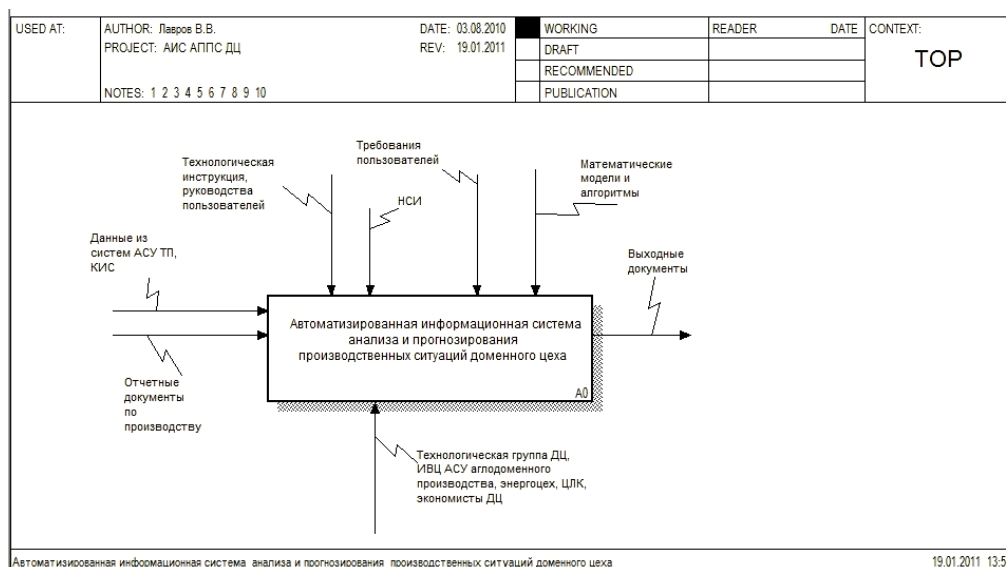


Рис. 1. Контекстная диаграмма функциональной модели АИС АППС ДЦ

технологических процессов, существующих на предприятии и утвержденных в качестве стандарта предприятия, и руководства пользователей для работы с автоматизированными рабочими местами.

**Механизмы (Mechanism)** представлены набором основных структурных подразделений и производств, которые являются поставщиками и потребителями той или иной части информации АИС АППС ДП: технологическая группа доменного цеха (ДЦ), информационно-вычислительный центр АСУ (ИВЦ АСУ) аглодоменного производства, энергоцех, центральная лаборатория комбината (ЦЛК), экономисты доменного цеха. В качестве **выходной информации (Output)** АИС АППС ДП понимается набор отчетных документов, характеризующих итоговые показатели работы доменных печей и цеха в целом за отчетный период, а также результаты прогнозной оценки работы печей с использованием модельных систем поддержки принятия решений. Первая часть документов имеет чисто статистический характер, вторая – результат расчета по математическим моделям доменного процесса, которая имеет своей целью провести анализ работы доменных печей и цеха в проектный период при изменении топливно-сырьевых условий их работы. В последнем случае инженер-технолог с помощью АИС АППС ДП может количественно оценить тепловое состояние доменных печей, спрогнозировать дутьевой, газодинамический и шлаковый режимы доменной плавки.

Первый уровень декомпозиции функциональной модели АИС АППС ДЦ предполагает разбиение на законченные, информационно, с точки зрения использования данных для анализа, взаимосвязанные подсистемы. Диаграмма первого уровня декомпозиции модели представлена на рис. 2.

Функция «Сбор и первичная обработка данных» (A1) обеспечивает автоматическое наполнение системы данными из АСУ ТП и КИС. Сбор первич-

ных данных производится в строго регламентированные моменты времени, которые установлены согласно требованиям инженерно-технологического персонала доменного цеха. Функция A1 наиболее информативна с точки зрения как количества параметров, так и с точки зрения объемов информации. Набор подключаемых параметров по конкретной доменной печи определяется условиями технического задания, разрабатываемого при реконструкции или капитальном ремонте доменной печи. Среднее количество параметров, отслеживаемое в АСУ ТП на ОАО «ММК» на одной доменной печи, составляет около 500, число работающих доменных печей 8. В зависимости от характера измеряемого параметра и требований технологических алгоритмов по его использованию в расчетах периодичность опроса параметров составляет от одной до нескольких секунд. Учитывая повышенную оперативность опроса и существенное количество сигналов, большая ответственность ложится на их первичную обработку и фильтрацию заведомо некорректных данных и их последующее хранение в АИС АППС ДЦ.

В первичной обработке данных участвуют работники различных подразделений комбината (технологическая группа доменного цеха (ДЦ), информационно-вычислительный центр АСУ (ИВЦ АСУ) аглодоменного производства, энергоцех, центральная лаборатория комбината (ЦЛК), экономисты доменного цеха). Выполнение обработки производится с использованием существующих на комбинате автоматизированных рабочих мест (АРМ): АРМ мастера доменной печи, АРМ газовщика, АРМ весовщика и др.

Выходная информация служит источником для всех других подсистем, в частности визуализации данных о работе доменных печей, сопоставительной оценки отчетных показателей, формирования технического отчета доменного цеха, проведения

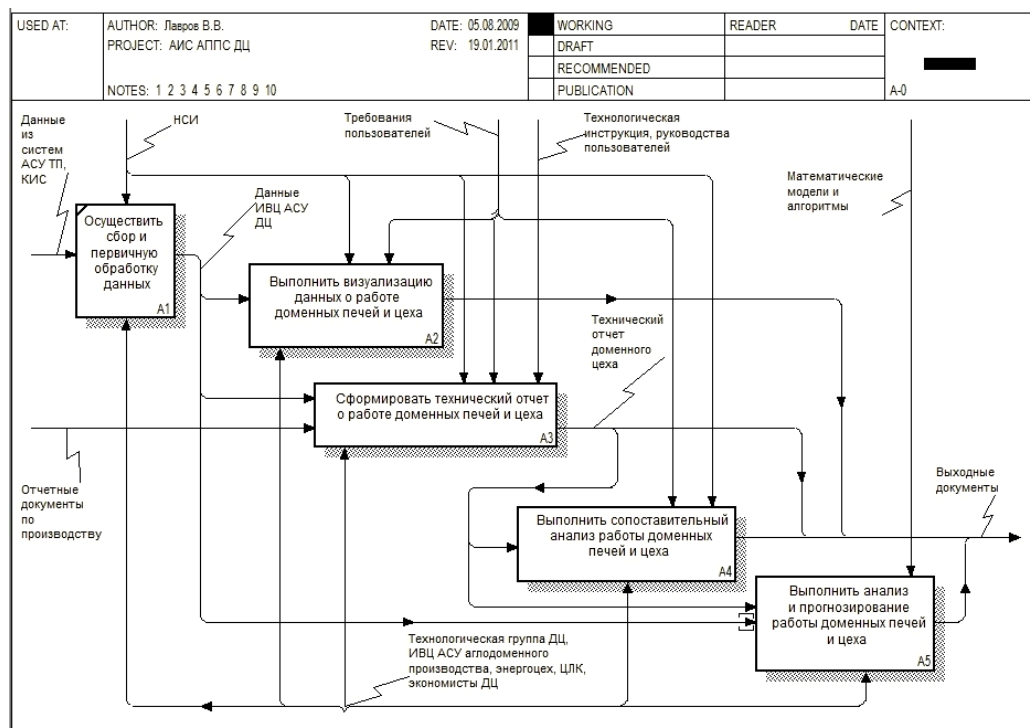


Рис. 2. Первый уровень декомпозиции функциональной модели АИС АППС ДЦ

анализа и прогнозирования работы доменных печей и цеха.

Функция «Визуализация данных» (A2) обеспечивает возможность построения графических трендов фактических и основных технико-экономических показателей работы доменных печей и цеха по среднесменным и суточным данным. Выбор показателей работы осуществляется на основе требований пользователей системы и блока нормативно-справочной информации. Выполнение этой функции обеспечивают, главным образом, работники технологической группы доменного цеха.

Результатом выполнения функции является набор отчетных документов с результатами визуальной оценки, а также численные данные, используемые для построения гистограмм, которые можно использовать для более детального анализа технологических режимов доменной плавки.

Функция «Технический отчет» (A3) обеспечивает подготовку и формирование всех сведений о работе доменного цеха за календарный месяц или за период с начала года до указанного месяца. Выполнение этой функции обеспечивается сотрудниками технологической группы доменного цеха, ИВЦ АСУ аглодоменного производства, энергоцеха, ЦЛК, экономистами доменного цеха. Руководящими документами для этой подсистемы являются технологическая инструкция доменного цеха, руководства пользователей автоматизированных рабочих мест, нормативно-справочная информация корпоративной сети комбината и требования пользователей к обработке данных.

Выходом подсистемы являются отчетные документы по основным разделам доменного производства.

Функция «Сопоставительный анализ» (A4) обеспечивает возможность сравнения отчетных показателей работы доменных печей за месяц или за период с начала календарного года до указанного месяца. Источником данных этой функции являются сведения о работе доменных печей, которые были подготовлены подсистемой «Технический отчет» и утверждены официально руководством доменного цеха.

Функция «Анализ и прогнозирование» (A5) позволяет проводить оценку и прогнозирование работы доменных печей и цеха в условиях, когда планируются изменения топливно-сырьевых условий их работы. Входные данные в эту подсистему поступают из подсистем A1 и A3. Обработку данных производят с помощью специального программного модуля, основу которого составляют математические модели теплового, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки.

Данная подсистема выполняет одну из наиболее важных с информационной точки зрения задач — предоставляет технологическому персоналу данные для проведения анализа работы доменных печей и цеха в целом и осуществление прогнозирования возможных событий, связанных с изменением критичных для технологического процесса входных параметров. Результаты прогнозной оценки фиксируются в виде специальных табличных и графических форм, экспортированных в популярные форматы отчетных документов.

Основываясь на результатах анализа информации, собранной при реализации предыдущих функций, по определенным алгоритмам производится анализ работы доменных печей и цеха в целом, оценивается текущее состояние хода доменного процесса, производится анализ наметившихся отклонений ключевых показателей, выявляются причины, повлекшие эти отклонения, осуществляется прогнозирование.

Полученная информация используется инженерно-технологическим персоналом для решения ряда технологических задач, разработки мероприятий по повышению эффективности работы доменных печей и цеха, а также принятия обоснованных управленческих решений по их внедрению в практику доменного производства.

Проиллюстрируем методологию дальнейшей декомпозиции только на рассмотрении функций A2, A3, A4 и A5, вклад которых, с точки зрения информации, наиболее существенен для успешного функционирования. При этом ограничимся только третьим уровнем декомпозиции системы.

Функция A2 системы декомпозируется на три составляющие, которые моделируют действия пользователя при работе с АИС АППС ДЦ (рис. 3).

В качестве входной информации функций A21 и A22 используются данные ИВЦ АСУ ДЦ, которые извлекаются путем обращения к таблицам сервера базы данных. Выполнение функции A23 производится на основе результатов функций A21 и A22.

Согласно требованиям пользователей реализация функции A2 должна предусматривать возмож-

ность отображения показателей работы доменных печей в двух режимах: «одна печь — несколько параметров» и «один параметр — несколько печей». В первом режиме отображения после выбора пользователем конкретной доменной печи необходимо предоставить ему возможность множественного выбора показателей для построения графических трендов. Таким образом, пользователю обеспечена возможность оперативно установить тенденцию распределения нескольких произвольно выбранных показателей на конкретной доменной печи с целью вскрыть закономерности и причины их изменения. Во втором режиме пользователь сначала должен выбрать конкретный параметр, доступный для отображения, и затем указать одну или несколько доменных печей, в которых он желает увидеть динамику изменения этого показателя. В этом случае пользователь сможет выполнить визуальную сравнительную оценку распределения конкретного показателя и выявить причины отклонения его величины на различных доменных печах.

Показатели, которые доступны для выбора в ходе выполнения функции настройки A21, условно можно подразделить на две категории — фактические и расчетные. Величины фактических показателей извлекаются путем прямого обращения к таблицам сервера базы данных, которые, в свою очередь, наполняются из систем АСУ ТП и с помощью автоматизированных рабочих мест производственного персонала различных служб агломенного цеха. Расчетные показатели определяются по специальным математическим алгоритмам пу-

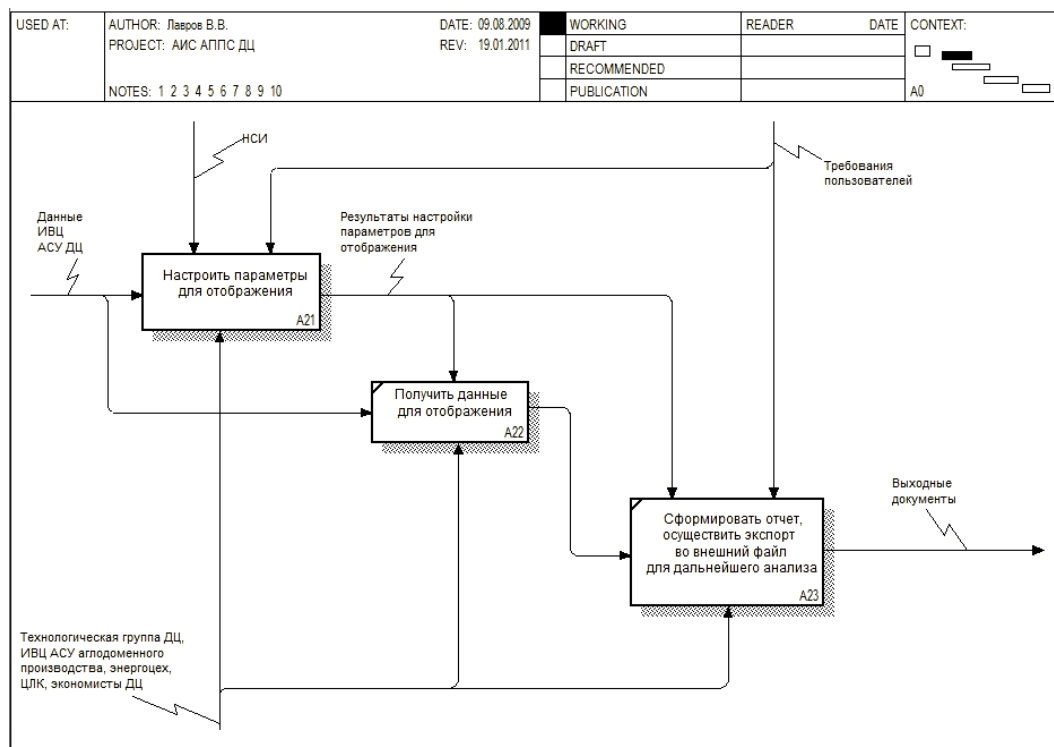


Рис. 3. Декомпозиция функции A2 «Выполнить визуализацию данных о работе доменных печей и цеха»

тем обработки фактических показателей. Использование расчетных показателей позволяет технологическому персоналу провести более глубокий анализ закономерностей и явлений доменной плавки. Еще одним результатом подсистемы настройки параметров А21 является установка периода усреднения показателей для отображения на трендах. Согласно требованиям специалистов технологической группы в качестве периода усреднения показателей достаточно выбирать смену или сутки.

Функция А3 «Сформировать технический отчет о работе доменных печей и цеха» является одной из основных, т. к. именно здесь создается отчетная информация, касающаяся всех аспектов производства доменных печей и цеха в целом за календарный месяц. Подсистема А3, рис. 4, декомпозирована на девять подсистем. В качестве входной информации использованы отчетные документы по производству (справки, отчеты, распоряжения и пр.) и данные ИВЦ АСУ доменного цеха. Реализацию подсистем осуществляют работники технологической группы ДЦ, ИВЦ АСУ аглодоменного производства, энергоцеха, ЦЛК и экономисты ДЦ на основании технологической инструкции, НСИ и требований к обработке данных. Выходная информация функций А31–А38 является входной для подсистемы А39.

Функция А31 производит учет поступления, расхода и остатка на конец месяца каждого вида шихтового материала, расхода скипового кокса (влажного и сухого), расхода сухой коксовой мелочи, расхода сухого металлургического кокса.

Функция А32 формирует сведения по: графику выпусков чугуна и шлака (количество плановых и фактических выпусков, процент выполнения графика выпусков); плановым и производственным показателям выплавки передельного и литейного чугунов, выходу шлака (план производства чугуна, план с учетом простоев, налив и слив передельного чистого (без шлака) и «грязного» (вместе со шлаком) чугуна, выплавленный чугун с кислородом, природным газом, количество шлака, процент выполнения производства по чугуну); производству передельного и литейного чугуна в чушках; потерях чугуна и шлака; потребителях чугуна (количество ковшей, миксеров и средний налив чугуна для каждого потребителя); использованию шлака по доменному цеху.

Функция А33 позволяет получить сведения по: химическому составу компонентов доменной шихты, золы кокса, природного газа, выплавленного чугуна и полученного шлака; показателям качества кокса (М10, М25, М40, влажности, содержанию золы, летучих, серы, углерода, фракционному составу, реакционной способности кокса (CRI), горячей прочности (CSR)) и чугуна (процент выплавленного чугуна с содержанием серы более 0,020 и 0,022 %).

Функция А34 производит формирование сведений по простоям и состоянию технологического оборудования. Сведения о простоях доменных печей поступают автоматически из АСУ ТП и включают в себя учет типа, категории и вида каждого простоя, реального времени начала и окончания, продолжительности простоя. Оценка состояния технологического оборудования включает в себя

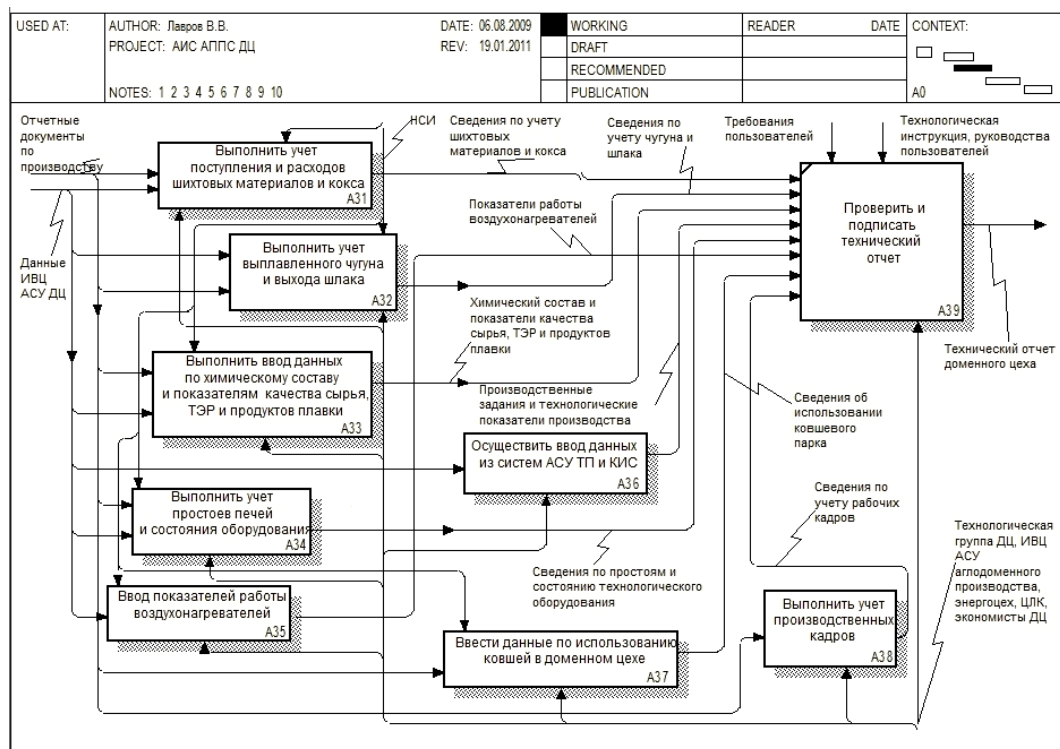


Рис. 4. Декомпозиция функции А3 «Сформировать технический отчет о работе доменных печей и цеха»



выбор типа оборудования из блока НСИ и указание варианта его состояния (неудовлетворительное, удовлетворительное, хорошее).

Функция А35 позволяет зафиксировать характеристики работы воздухонагревателей доменных печей, в частности температуру купола, температуру дымовых газов и продолжительность рабочего цикла, в том числе воздушного периода.

Функция А36 реализует ввод данных из систем АСУ ТП и КИС. Сведения, поступающие из АСУ ТП, включают в себя данные по влажности кокса, параметрам воздушного дутья и колошниковому газу, температуре чугуна, использованию энергоресурсов в доменных печах и цехе. Из КИС поступают данные по расходам сырья, кокса, энергоресурсов для каждого производственного задания.

Функция А37 позволяет отследить работу ковшевого парка доменного цеха. Эти сведения включают в себя данные о наличии ковшей, количестве ковшей в работе, ремонте, резерве, отремонтированных, службе ковшей наливов и количестве смененных шлаковых чаш.

Функция А38 учета рабочих кадров формирует сведения о количестве людей по плану, фактическому среднесписочному составу, количестве рабочих на конец месяца, величине отработанных человеко-часов.

Окончательным этапом выполнения функции А3 является реализация функции проверки и подписания технического отчета (функция А39). Функция А39 осуществляет предварительное отображение всех разделов технического отчета доменного цеха, после чего позволяет выполнить его подписание. Подписание отчета делает недоступным любые изменения данных в отчетном месяце. С помощью этой функции пользователь может скорректировать фамилии и должности сотрудников, которые несут

ответственность за содержание технического отчета. Выполнение этой функции, согласно технологической инструкции доменного цеха, возложено на пользователя из состава технологической группы, наделенного соответствующими полномочиями. При необходимости возможно отложить подписание отчета, в этом случае станет возможным редактирование данных в текущем месяце.

Функция А4 «Выполнить сопоставительный анализ работы доменных печей и цеха» тесно интегрирована с функцией подготовки технического отчета доменного цеха А3. В результате выполнения функции А4 инженерно-технологический персонал обеспечивается достоверной информацией для осуществления контроля и сравнительного анализа работы доменных печей и цеха в целом в различные временные периоды, а также данными для использования в компьютерных системах поддержки принятия решений. Подсистема А4 декомпозируется на четыре составляющие, которые моделируют действия пользователя при работе с АИС АППС ДЦ (рис. 5).

Реализация функции А5 «Выполнить анализ и прогнозирование работы доменных печей и цеха» производится на основании комплекса математических моделей и алгоритмов, которые позволяют производить анализ шлакового, газодинамического и теплового режимов доменной плавки и прогнозировать работу доменных печей при изменении топливно-сырьевых условий (рис. 6).

В качестве входной информации в подсистеме А5 используются фактические данные о работе доменных печей, поступающие из подсистем А1–А4. В результате реализации данной функции инженерно-технологический персонал качественно и количественно оценивает возможности использования различных видов сырья и топлива с учетом заданных требований по производству чугуна, составу

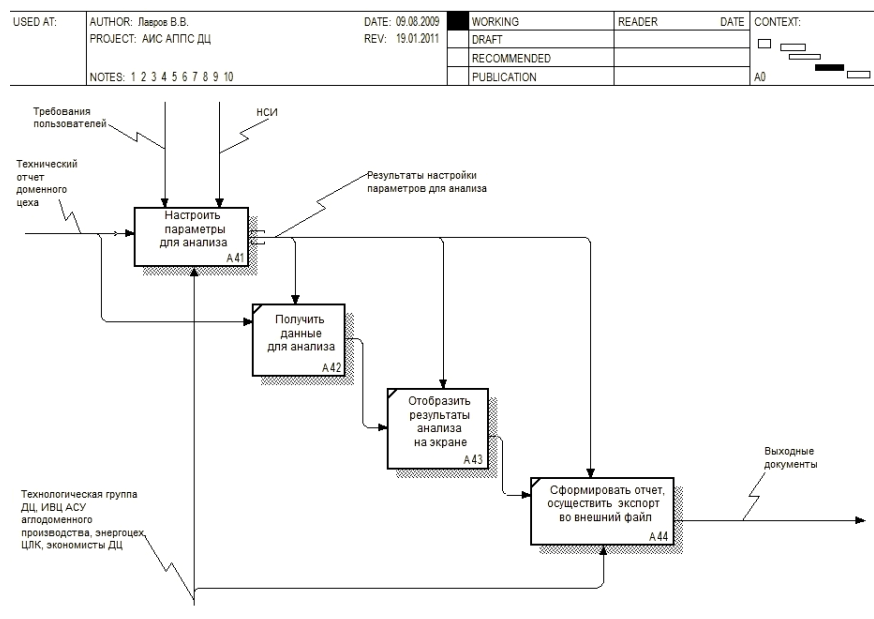


Рис. 5. Декомпозиция функции А4 «Выполнить сопоставительный анализ работы доменных печей и цеха»

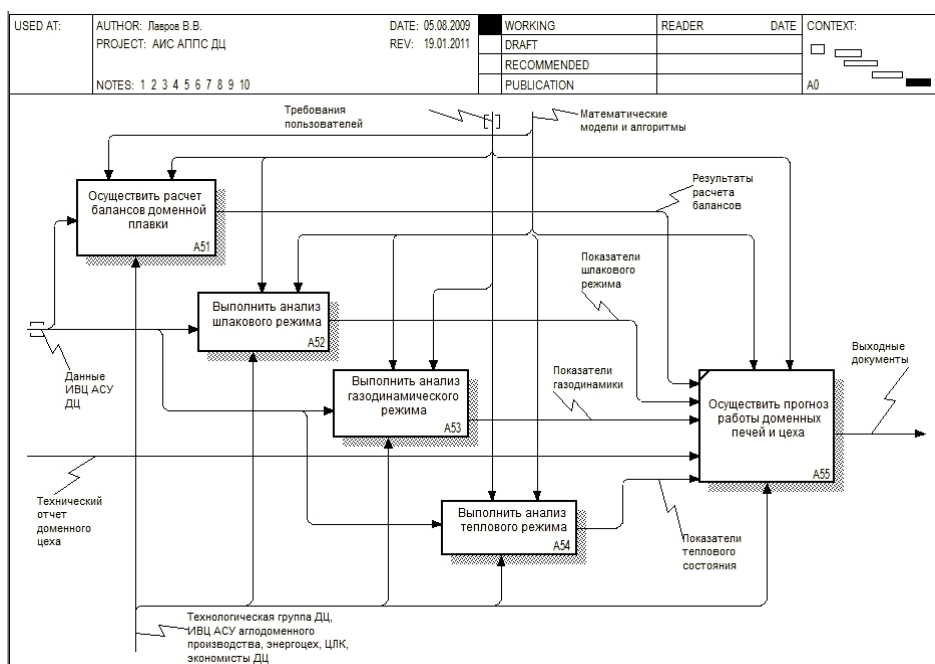


Рис. 6. Декомпозиция функции А5 «Выполнить анализ и прогнозирование работы доменных печей и цеха»

жидких продуктов плавки, шлаковому, газодинамическому и тепловому режимов в доменной плавке.

Таким образом, на основе системного подхода с использованием методологии IDEF0 разработана функциональная модель автоматизированной информационной системы инженерно-технологического персонала доменного цеха, определены основные функции и взаимосвязи между отдельными функциональными блоками. Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели АИС АППС ДЦ составляет 136.

Результаты функционального моделирования позволили в дальнейшем перейти к следующим этапам разработки системы – структурному моделированию и созданию программного обеспечения отдельных подсистем [3]. В конечном итоге, разработана автоматизированная информационная система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха, которая внедрена в АСУ доменного производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [4]. Созданная система интегрирована в существующую информационную структуру и позволяет на основе имеющейся фактической отчетной информации осуществлять анализ и прогнозирование произ-

водственных ситуаций в доменном цехе, а также решать комплекс технологических задач. С ее помощью инженерно-технологический персонал реализует мероприятия, направленные на повышение качества анализа, прогнозирования и планирования технологических ситуаций.

#### Выводы

Продemonстрированы технологические особенности применения методологии функционального моделирования IDEF0 в ходе создания и внедрения на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха. Использование данной методологии 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 разработки предотвратить возможные ошибки.

*Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс. – СПб.: Питер, 2007. – 896 с.
- Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
- Спирин Н.А., Лавров В.В., Бурыкин А.А., Краснобаев А.В., Быков А.Г. Технология и средства разработки информационно-моделирующих систем для решения технологических задач в металлургии // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 5. – С. 156–162.
- Лавров В.В., Спирин Н.А., Бурыкин А.А., Краснобаев А.В. Создание программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха» на основе современных информационных технологий // Сталь. – 2010. – № 1. – С. 17–21.

Поступила 24.01.2011 г.