

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОМЕННЫМ ПРОЦЕССОМ:  
СОСТОЯНИЕ, РАЗВИТИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ****Я.С. Масальский, М.М. Френкель  
(ОАО "Черметавтоматика")**

*Рассматриваются текущее состояние и общие тенденции развития программно-технических средств, применяемых в АСУ доменным процессом*

История развития АСУТП доменным процессом тесно связана как с совершенствованием технологии и оборудования доменной плавки, так и с повышением технического уровня средств и систем контроля и управления. Оба эти фактора, действуя совместно и взаимосвязано, привели к созданию систем, которые решают проблему контроля и управления доменным процессом, обеспечивают поиск оптимальных параметров ТП, создают условия экономичного производства чугуна высокого стабильного качества. Как результат, система обеспечивает высокую надежность оборудования и эффективность ТП, безопасные и комфортные условия работы персонала.

Общая тенденция развития АСУТП доменным процессом связана с необходимостью удовлетворения возросших требований доменного производства и использования новейших возможностей и средств управления процессом. Например, на заводе фирмы "NKK Corp." в Фукуяме разработали технологию производства чугуна с самым низким содержанием кремния (достигли мирового рекорда по низкой концентрации [Si]) — менее чем 0,2 % на всех доменных печах. Эта технология [1] включает систему регулирования температуры чугуна, уровня расплава в печи, реакций переноса кремния. Применяется агломерат с низким содержанием кремнезема, осуществляется стабилизация ТП прецизионным дозированием, регулированием распределения шихты и др. системы автоматизации. Здесь не приведены все составляющие успеха, однако совершенно очевидно, что экономический эффект мирового уровня достижим только при тесной взаимосвязи технологии и конструкции печей с соответствующим образом развитыми средствами и системами АСУТП.

Поскольку сырьевые условия, требования к качеству чугуна, уровень технологии, новизна и состояние оборудования на разных металлургических предприятиях и, особенно, в разных странах существенно различаются, то разнятся и видимые тенденции развития АСУТП доменным процессом. Тем не менее, можно говорить об общих тенденциях, наиболее характерных.

**Доменная печь и технология производства чугуна как объект автоматизации**

Доменные печи характеризуются единством материальных, энергетических и информационных субструктур со сложными зависимостями, эффективность работы которых определяется их интеллектуальным информационно-техническим обеспечением.

Концепция технического совершенствования доменной плавки получила новое развитие в результате создания стационарных и мобильных автоматизированных средств исследований в виде информационно-технических комплексов, сочетающих физические средства измерений и моделирования, с совершенствованием математического аппарата исследований.

Доменную печь нужно отнести к объектам управления высокого класса сложности:

- с распределенными параметрами и исключительно высоким уровнем помех;
- к существенно нелинейным многоканальным;
- нестационарным по статическим характеристикам каналов управления и свойствам неконтролируемых возмущений, проходящим по этим каналам;
- располагающим ограниченным числом каналов регулирования, приемлемых с технологической точки зрения. Самые технологичные и эффективные из них обладают неблагоприятными динамическими свойствами. Их использование возможно только для частичного подавления нестационарных низкочастотных составляющих в реализациях выходных параметров;
- с частотным составом приведенных к выходу возмущений крайне неблагоприятным с точки зрения достижимых эффектов стабилизации. Важнейшие выходные величины процесса содержат преимущественно высокочастотные составляющие (до 80 % от общей спектральной мощности сигнала) с полупериодом гармоник меньшим, чем транспортное запаздывание каналов управления. Подавление высокочастотных составляющих по данным каналам в системах управления "по отклонению" неэффективно при любом типе обратных связей;

— доменную печь хотя и принято описывать простым звеном первого порядка по отдельным каналам управления, но получить численные значения параметров каналов управления не представляется возможным. Это отчасти объяснимо тем, что доменная печь как объект управления является не только объектом с распределенными в пространстве параметрами, но и объектом с физико-химическими процессами, существенно отличающимися друг от друга, хотя они объединены единым пространством агрегата.

Кроме того, высокий уровень шума входных сигналов доменного процесса, "противоречивые" реакции объекта на входные воздействия, высокий уровень приведенного к выходу возмущения не позволяют получить устойчивые экспериментальные динамические характеристики процесса. Как следствие, перечисленные выше подходы являются ограниченными по достигаемым эффектам управления. Применяемое в ряде систем допущение о сосредоточенном характере каналов управления и их линейности приводит зачастую к противоречиям в рекомендациях таких систем.

В наибольшей степени задаче эффективного управления отвечал бы любой метод, позволяющий идентифицировать внутреннее состояние доменной печи. Идеальным был бы метод прямого измерения (отсюда развитие и широкое применение в доменном производстве разного рода зондовых измерительных систем). Наиболее реально в настоящий момент применение систем управления с моделью процесса, позволяющей оценить важнейшие параметры внутреннего состояния процесса и агрегата недоступные для прямого измерения.

Даже при наличии адекватной модели внутреннего состояния процесса остается задача формализации управляющих воздействий. Однако сама возможность создания глобальной модели доменного процесса представляется дискуссионной. Наиболее рациональным решением является наличие нескольких моделей, последовательно описывающих процессы в доменной печи, состояние агрегата, качества чугуна.

Сложившиеся в 1960-1970 гг. понятия "уровней управления" (нижний, средний, верхний) почти утратили смысл рассмотрения. Это связано с тем, что сбор и первичную обработку информации (нижний уровень управления), выполняют ПЛК, ранее относившиеся к среднему уровню управления, а представление информации, (ранее нижней уровень управления), выполняют сегодня средства вычислительной техники. Поэтому для удобства рассмотрения состава и средств АСУТП воспользуемся условной классификацией по функциональному, технологическому их назначению.

Несомненно, общей тенденцией АСУТП доменных печей следует считать создание систем, в основе которых лежит модульный принцип построения всех технических и программных средств. Это определяет развитие АСУТП путем наращивания или совершенствования модулей.

**Автоматический контроль и стабилизация** отдельных параметров доменного процесса и оборудования сыгнали в свое время большую роль в деле экономичности работы, повышения производительности доменных печей [2], обеспечения безопасности производства.

Продолжает наращиваться и использоваться арсенал разнообразных физических методов стандартных и специализированных средств автоматического контроля. Возросший за последние годы объем автоматического контроля существенно снизил поток информации, получаемой оперативным персоналом доменной печи вручную или визуально, хотя еще 10...15 лет назад он составлял около 50 % объема информации [3], необходимой для управления доменной плавкой. Продолжают развиваться и наращиваться специализированные средства автоматического контроля безопасности производства.

Повышаются метрологические характеристики приборов (измерительных каналов). Характерным представляется широкое использование тензометрических весовых устройств, практически вытеснивших механические весы и превосходящих последние по точности и надежности измерений. Датчики, а иногда и преобразователи, используют с унифицированным выходом. Измерительные приборы (каналы измерения) обычно соответствуют требованиям российских и международных стандартов.

Наблюдается повышение централизации контроля, повсеместная замена вторичных, показывающих и регистрирующих приборов электронными, представляющими информацию на экране монитора. Сбор и первичную обработку информации выполняют ПЛК.

Системы *стабилизации доменной плавки* в настоящее время существуют в той или иной степени на всех доменных печах. Их роль во многом выполняют локальные системы и регуляторы: дозирования шихты и кокса; программное управление "нижней" (набором) и "верхней" загрузкой доменной печи; регулирования температуры и влажности дутья, давления под колошником, вдувания кислорода и углеводородосодержащих реагентов.

Для более устойчивой стабилизации теплового и шлакового режима доменной плавки в расчетах корректировки состава шихты и подшихтовки используются динамические параметры доменной плавки.

#### **Вычислительная техника, верхний уровень управления**

Для доменной печи отсутствуют практически все ограничения, связанные с объемом и скоростью вычислений, качеством и надежностью компьютерного оборудования. Вместе с тем, верхний уровень управления, как правило, использует математические модели и методы, обладающие низкой, с точки зрения конечных результатов, эффективностью. Алгоритмы управления построены на основе тривиальных знаний о процессе и способны исключить грубые ошибки управления, но не применимы для анализа нестандартных ситуаций и для выработки новых технологических приемов.

Алгоритмы управления, разработанные в рамках прикладной теории нечетких множеств, более перспективны, но используют ограниченный набор функций принадлежности, что возлагает решение на оператора-технолога в нетривиальной ситуации, или регулирующие воздействия окажутся недостаточно эффективными.

Важным фактором стабилизации и повышения эффективности управления следует считать возможность существенного повышения достоверности информации. Пересмотр концепции представления динамики изменений параметров процесса и оборудования позволяет сузить результирующую информацию, путем трансформации огромных объемов информации в компактные обозримые видеодиаграммы и топограммы. Представление на экранах дисплеев графической и текстовой информации в РВ дает мастеру доменной печи общую оценку состояния процесса и показывает прошедшие за последний период изменения. Сокращение времени на анализ ситуации, исключение ошибочного восприятия информации позволяют оператору сосредоточиться на решении только отдельных оперативных задач.

Несмотря на разнообразие перспективных методов и математических моделей доменного процесса (газодинамики, тепло- и массообмена, поведения сыпучих шихтовых систем и др.), как показывает мировой опыт, в настоящее время не существует систем и средств, обеспечивающих полную стабилизацию доменного процесса. Проведенные еще в 1990-1992 гг. исследования [3] выявили большой объем информации, собираемой мастером печи вручную, а также целесообразность использования технологии искусственного интеллекта для ранней диагностики доменного процесса. Зарубежный опыт создания экспертных систем диагностики, введенных в действие на ряде доменных печей в последнее десятилетие, также подтвердил их высокую эффективность.

Одновременно и параллельно с этим дальнейшее развитие получили специализированные средства, и созданные на их базе системы оперативного контроля отдельных процессов и оборудования, а также системы управления:

- обнаружения ранних стадий расстройств хода доменной печи и регулирование распределения материалов и газового потока в печи, с использованием профиломера (и термовизора) поверхности засыпки шихты;

- автоматического контроля разгара футеровки горна и лещади; прогара воздушных фурм.

Таким образом, АСУТП доменным процессом создается путем интеграции всех ее основных компонентов: специализированных локальных систем; экспертных систем диагностики на базе технологии искусственного интеллекта; математических моделей ТП.

**Экспертная система диагностики доменного процесса и состояния оборудования печи** предназначена для диагностики доменного процесса и основного оборудования доменной печи путем идентификации их текущего состояния, причин и прогноза развития отклонений от нормального режима, выработки аргументированных управляющих воздействий с целью локализации возможных последствий этих отклонений на ранней стадии или поиска более экономичных режимов при устойчивом нормальном состоянии технологии и оборудования доменной печи.

Особенностью экспертной системы является наличие интеллектуальной системы формализации знаний с дружественным ЧМИ, т.е. систем с ЧМИ на естественном языке для создания баз знаний (БЗ) экспертом – квалифицированным технологом доменщиком, без специальных навыков работы с ПК.

Возможности формализации знаний различаются в зависимости от вариантов использования технических средств, математического и программного обеспечения. Во всех вариантах основной исходной информацией служат данные традиционных КИП доменной печи, обрабатываемые средствами вычислительной техники. Варианты рассматриваются по мере увеличения возможности систем, а, следовательно, их мощности и цены.

**Система оценки состояния доменной печи для исключения технологических ошибок** исключает явные ошибки в технологических действиях персонала и обеспечивает оценку возможности возникновения некоторых отклонений от нормального режима работы доменной печи и состояния оборудования таких, как: изменение газового потока в печи; изменение нагрева печи; нарушение шлакового режима; потеря объема печи и т.п.

Для реализации системы используется "оболочка" экспертной системы и БЗ с ограниченным набором правил и метаправил. Технические средства дополняются небольшим числом обычных КИП или их модификацией и более мощными вычислительными средствами, т.е. требуются небольшие дополнительные затраты. Перечень анализируемых отклонений от нормального режима работы доменной печи и состояния оборудования, в зависимости от возможностей источников информации и их использования в БЗ, может изменяться. Система может быть дополнена математическими балансовыми моделями анализа хода доменной печи.

**Система обнаружения ранних стадий расстройств хода доменной печи и регулирования распределения материалов и газового потока в печи** использует измерение профиля и температуры поверхности материалов на колошнике непосредственно перед и после загрузки каждой подачи, позволяет измерять и регулировать одновременно геометрический профиль и температуру поверхности шихтовых материалов на колошнике в режиме РВ и организовать оптимальное распределение газового потока в печи. Это дает возможность обнаруживать расстройства хода (обра-

зование каналов, подвисяний, тугого хода) печи на ранних стадиях, поддерживать стабильный газодинамический режим доменной плавки [4].

Профилимер сканирует полный диаметр очередной подачи на колошник в течение 20...30 с. Погрешность — не хуже  $\pm 10$  см.

Термовизор для измерения температуры поверхности засыпи шихты — инфракрасный сканер термоизображения — имеет высокую разрешающую способность и точность измерения температуры по всей поверхности шихты. Объектив сканера через специальную линзу сканирует поверхность со скоростью 25 снимков в секунду.

Математическое и программное обеспечение системы позволяет представлять измеренные профили на экране дисплея монитора, скорректированные с учетом схода шихты за время измерения. Слои загруженных материалов в соответствии с программой загрузки также представляются на экране с учетом опускания их в печи. На дисплее представляется распределение рудной нагрузки и постоянно обновляемая (текущая) форма цикла последних слоев загруженных материалов.

Представляется также термограмма поверхности шихты, показывающая более нагретые участки, развитие канала или другое перераспределение газового потока.

Опыт использования системы на доменных печах России, Швеции, Италии, Польши лег в основу ноу-хау по управлению и регулированию хода печи. Разработана методика идентификации состояния поверхности засыпи с помощью обобщенных показателей.

**Система обнаружения ранних стадий расстройств хода доменной печи и управление ее работой при отклонениях от нормального режима** обеспечивает не только диагностику отклонений от нормального режима работы доменной печи и состояния оборудования, но идентифицирует обусловившие их причины, прогнозирует развитие и выдает соответствующие рекомендации практически для всех аномальных явлений, а именно:

- изменение газового потока в печи: периферийный ход, центральный ход, перегруз периферии, канальный ход, перекоп поверхности засыпи, нарушенный уровень засыпи, неравномерная работа газа по окружности;
- тугий ход печи, подвисяние шихты, ход печи обрывами;
- изменение нагрева печи: холодный ход (похолодание), горячий ход (разогрев);
- нарушение шлакового режима, потеря объема печи;
- образование настывлей;
- загромождение или зарастание горна;
- прогар охладительных приборов;
- продувы конусов, клапанов загрузочного устройства и воздунагревателей;
- состояние кладки лещади, горна, воздунагревателей, воздухопроводов; грохотов или качества материалов; механизмов управления и регулирования средств контроля и вычислительной техники.

Для реализации системы используется интегрированная "оболочка" сложных экспертных систем. Указанная оболочка позволяет технологам формировать БЗ без ограничения объема правил и метаправил, т.е. могут быть использованы не только приемы управления, изложенные в технологической инструкции, но и правила, известные только узкому кругу высококвалифицированных специалистов. Предлагаемая технология интегрированных сложных экспертных систем включает развитый аппарат производственных правил с двумя уровнями средств динамического управления. Кроме того, в ее составе имеется аппарат не доопределенных вычислений. Это позволяет решать задачи поиска более экономичных режимов при устойчивом нормальном состоянии технологии и оборудования доменной печи, а также ранжировать управляющие воздействия с учетом большего числа влияющих факторов и выявленных причин, разной степени вероятности событий.

Для адаптации модели используются дополнительные специальные средства контроля, в т.ч. анализ состава газа по диаметру колошника.

Система поиска оптимальных режимов ведения доменного процесса обеспечивает создание на "верхнем уровне управления" условий для адаптации к конкретной доменной печи и технологии перечисленных ниже математических моделей, позволяющих на первом этапе проводить анализ технологии доменной плавки и выбор наиболее рациональных режимов доменного процесса. На последующих стадиях, после адаптации моделей, в сочетании с "системой обнаружения ранних стадий расстройств доменного процесса и состояния оборудования печи, управление ее работой при отклонениях от нормального режима" экспертная система будет дополнена выбором критериев и ограничений ведения доменного процесса, т.е. обеспечит поиск оптимальных режимов ведения доменной плавки в автоматическом режиме.

Структура и математическое обеспечение моделей были опубликованы [5] или представляют собой предмет "ноу-хау", в короткой записи их содержание не может быть раскрыто. Ниже перечислены математические модели, как пример, которые были разработаны и адаптированы на разных доменных печах:

- распределения материалов при укладке на колошнике и при опускании в шахте печи;
- газодинамики — двумерная модель распределения скоростей газа по сечению и высоте доменной печи;
- массо-теплообмена — двумерная модель температурных полей по сечению и высоте доменной печи;
- зоны плавления, шлакообразования, состава и вязкости шлака;
- теплового состояния печи, горна, прогноз нагрева чугуна и шлака;
- корректировки перехода элементов в чугун, шлак, газ;
- теплопотерь по элементам поверхности и с охлаждением доменной печи и др.

**Эффективность АСУТП**

АСУТП доменной печи эффективна со всех точек зрения: производственной, технологической, экономической, кадровой, экологической.

Основной экономический эффект от использования АСУТП обеспечивается за счет снижения затрат на производство чугуна, уменьшения удельных энергетических затрат и прежде всего удельного расхода кокса, повышения качества чугуна, увеличения объема производства.

Существенную часть экономического эффекта составляет экономия за счет исключения издержек на ликвидацию последствий отклонений от нормального режима работы доменной печи. Например, при ликвидации гарнисажа из-за потери объема доменной печи № 6 на Новолипецком металлургическом комбинате в период 20...30 сентября 1998 г., т.е. за 10 суток было перерасходовано больше 2000 т скипового кокса (увеличение удельного расхода с 415 до 471 кг кокса/т чугуна), а производство чугуна снизилось с 7200 до 4400 т/сут. Система выполняет свои функции при минимальных эксплуатационных расходах.

*Масальский Ярослав Станиславович — д-р техн. наук, ген. директор,  
Френкель Макс Моисеевич — канд. техн. наук, гл. инженер проекта ОАО "Черметавтоматика".  
Контактные телефоны: (095) 150-87-00, 156-90-77. E-mail: chernet@mcn.ru*

Опыт ввода в действие аналогичных систем показал, что затраты на их создание окупаются за короткий период времени, как правило менее года.

**Список литературы**

1. *Обзор по доменному производству в Японии за 1997 г. Технология и оборудование // Новости черной металлургии за рубежом. 1999. № 1. С. 16-17.*
2. *Каганов В.Ю., Блинов О.М., Беленький А.М. Автоматизация управления металлургическими процессами. М.: Металлургия. 1974. С. 164-219.*
3. *Френкель М.М., Федулов Ю.В., Белова О.А., Краснобаев В.А., Яхно Т.М. Экспертная система управления ходом доменной плавки // Сталь. 1992. № 7. С. 15-18.*
4. *Халецкий Б.Е., Френкель М.М., Гришкова А.А., Рыжак Н.Ф. Разработки АО "Черметавтоматика" в области автоматизации доменного производства // Там же. 2000. № 8. С.11-12.*
5. *Доброскок В.А., Чижиков А.Г., Мерницц Й. и др. Использование математических моделей с целью разработки высокоэкономичных ресурсосберегающих и утилизационных технологий выплавки чугуна // Матер. межд. науч. техн. конф. "Автоматизированный печной агрегат — основа энергосберегающих технологий XXI века". 2000.*

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ МЕТАЛЛУРГОВ: ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**И.И. Толмасская, М.Ю. Терлецкий**  
(Компания ИндаСофт)

*В статье рассматриваются основные задачи и перспективы построения интегрированных информационных систем производства в металлургии.*

Сегодня к перспективным направлениям в области автоматизации производства в металлургии, помимо модернизации существующих АСУТП и создания новых, относится и построение информационной инфраструктуры, которая бы позволила связать в единую систему разрозненные цеховые и агрегатные подсистемы и участки автоматизации. Актуальность таких разработок базируется на значительном экономическом эффекте от их внедрения, так как построение подобной инфраструктуры позволяет решить большинство технических проблем и оптимизировать производственные процессы за счет возможности анализа проблемно-ориентированной информации, накопленной в единой БД.

На современном уровне развития промышленности необходимым условием успешного управления предприятием является точная и оперативная информация о протекании ТП, о количестве и качестве сырья и товарных продуктов, о потреблении

энергоресурсов, об экологической обстановке и т.п. Эти знания обычно похоронены в бумажных отчетах и потому часто бывают недоступны, ошибочны или утеряны. Между тем, прибыль напрямую зависит от качества и оперативности принимаемых деловых и технических решений. Улучшение этих характеристик невозможно без анализа производственных данных в режиме РВ многими пользователями на разных участках предприятия и разных уровнях управления. Поэтому активное использование производственных данных РВ должно стать неременной составляющей стратегии управления предприятием.

К настоящему времени многие металлургические предприятия уже оснащены АСУТП, которые являются базой для информационной системы производства (ИСП) и имеют достаточное количество информации о производственном процессе в РМВ. Предлагаемая структура интегрированной системы