



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АСУ ПЕЧИ ВАНЮКОВА

АЛЕКСАНДР СПЕСИВЦЕВ
infosummatechnology.ru

Интеллектуальные АСУ представляют собой новый этап в развитии автоматизированных систем управления технологическими и производственными процессами. Основной областью их применения является управление техническими системами, производственными комплексами или отдельными агрегатами, которые в настоящее время трудно поддаются формализации традиционными методами математического моделирования.

Значительное количество объектов металлургической, энергетической, химической и нефтехимической отраслей относятся к числу слабо формализованных систем. Управляют ими обычно операторы-технологи, обладающие большим запасом знаний и опыта и способные самостоятельно принимать решения даже в условиях неопределенности входных параметров. Например, для большинства плавильных агрегатов до сих пор не представляется возможным предсказание или точное измерение некоторых важных технологических параметров. Поэтому решения операторами принимаются интуитивно, на основании субъективных оценок, опыта и знаний. Высокая зависимость от влияния человеческого фактора сказывается на общей эффективности плавильного процесса, часто приводит к повышению расхода энергоносителей и снижению качества продуктов плавки.

Применение экспертных систем позволяет объединять опыт наиболее квалифицированных операторов и технологию автоматического управления. В интеллектуальных АСУ реализуются методы и алгоритмы сбора и обработки данных, за счет которых обеспечивается выполнение следующих задач:

- выявление объективных данных и закономерностей на фоне разнородной информации;
- выработка решений в условиях неопределенности;
- воспроизведение неформализованных экспертных практик управления;
- автоматическое пополнение и сохранение базы знаний по эксплуатации системы;
- обучение операторов наиболее эффективным практикам управления.

В 2011–2012 гг. компания «Сумма технологий» выполнила разработку интеллектуальной АСУ печи Ванюкова № 3 (ИАСУ ПВ-3) для Медного завода ОАО «ГМК «Норильский никель».

ИАСУ ПВ-3 выполнена на базе платформы Gensum G2 и решает такие задачи по управлению печью Ванюкова, как:

- стабилизация качества продуктов плавки;
- получение неизмеряемых или плохо измеряемых параметров

технологического процесса и состояний агрегатов косвенными методами;

- снижение энергоемкости процесса;
- стабилизация температурного режима;
- сведение до минимума влияния человеческого фактора на выработку управляющих воздействий.

ОЦЕНКА УПРАВЛЯЕМОСТИ ПЕЧИ ВАНЮКОВА

В 2008 г. компания «Сумма технологий» провела специальные исследования процессов управления печью Ванюкова № 3 Медного завода ОАО «ГМК «Норильский никель» с целью определения влияния различных факторов на качество продуктов плавки, расход энергоресурсов, стабильность теплового режима печи и другие параметры ее работы.

Исследования показали, что, во-первых, при существовавшей на тот момент системе управления разброс содержания меди в штейне не зависел явно ни от каких управляющих переменных, например скорости загрузки металло-содержащих, расхода кислорода в воздушной смеси (КВС), содержания кислорода в КВС и др. Во-вторых, основным фактором снижения стабильности процесса плавки является неопределенность количественных значений ряда входных параметров, например влажности и химического состава шихты. В-третьих, в отсутствие информации о температуре рас-

плава оператору приходится принимать решение о состоянии технологического процесса плавки на основе органолептических наблюдений за характерными особенностями ванны расплава (цвет расплава, величина и «тяжесть» брызг и т. д.). В-четвертых, каждый оператор-технолог на основе собственного опыта формирует индивидуальный стиль и технологию управления печью Ванюкова. Например, на рис. 1 приведены данные по изменению во времени показателей работы трех смен подряд в течение одних суток.

Очевидно, что в такой ситуации экспертные знания наиболее квалифицированных операторов представляют значительную ценность, поэтому существенное место в разработке интеллектуальной АСУ печи Ванюкова было отведено вопросам инженерии знаний.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ

В основу моделирования процесса Ванюкова положена уникальная методология представления знаний, позволяющая преобразовывать экспертные знания в математическую модель в виде нелинейной функции. Результатом моделирования является система уравнений в заданных ограничениях технологического процесса. Ограничения определяют текущий режим ведения процесса.

В общей сложности для описания физико-химических процессов, протекающих в ванне распла-

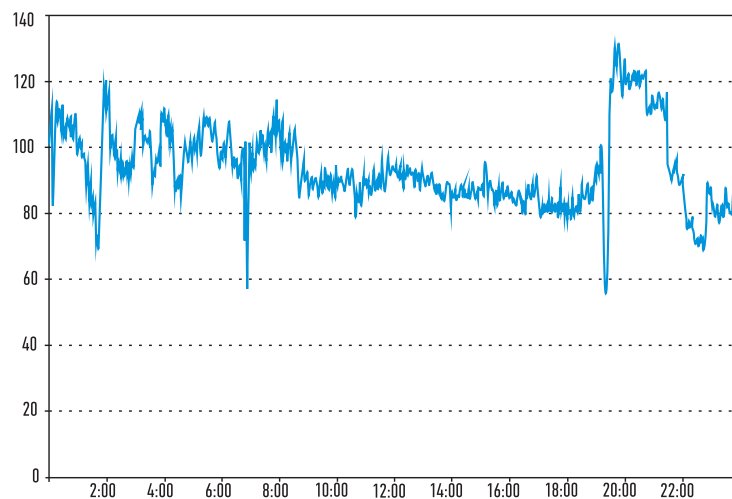


РИС. 1. ◀
Изменение во времени показателей работы трех смен операторов по загрузке шихты (т/ч)

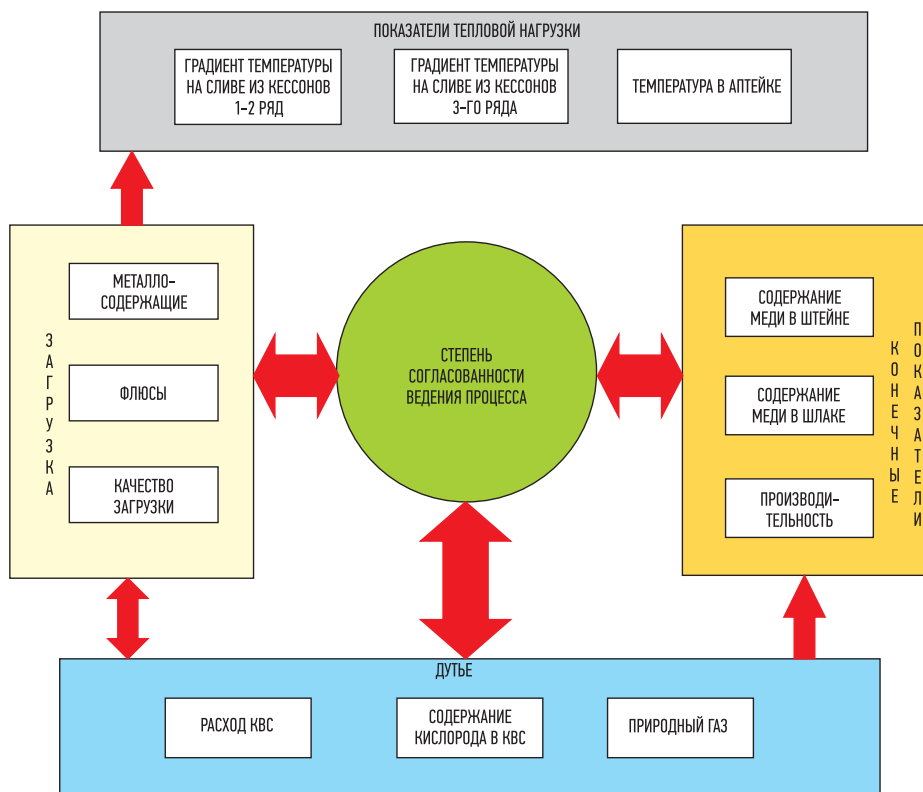


РИС. 2. ▲
 Модели управления
 технологическим
 процессом печи
 Ванюкова

ва, было разработано 12 моделей (рис. 2). Модели условно можно разделить по типам: прогнозирующие, рекомендательные, имитационные, расчетные. Рассмотрим отдельно каждый тип.

Расчетные модели позволяют выполнить численную оценку таких неизмеряемых параметров, как качество шихты и согласованность физико-химических процессов в ванне расплава. В этих моделях учитывается до семи переменных параметров, каждая из которых несет в себе информацию о ходе процесса. На основе анализа данных по переменным вычисляются оценки качества загрузки или согласованности процесса, например от 0,3 до 0,9, где 0,3 — плохое качество загрузки/низкая степень согласованности процесса, а 0,9 — высокое качество загрузки/высокая степень согласованности процесса. Наблюдая за динамикой изменения количественных оценок по моделям «Согласованность процесса» и «Качество загрузки», оператор может судить о техническом состоянии процесса одновременно по нескольким параметрам, их сочетаниям и вариациям. Если оператор видит, что после изменения одного

параметра значения коэффициентов устремились к оценке «плохо», то он может сделать необходимые выводы и оперативно откорректировать ситуацию.

Имитационные модели, такие как «Температура расплава», «Температура в аптейке», «Перепад температуры воды в 1-2 ряду кессонов», «Перепад температуры воды в 3 ряду кессонов», используются, в основном, в режиме «Тренажер» и дают возможность поэкспериментировать, испытать изменения в критичных режимах, а также продемонстрировать неопытным операторам, как влияют их действия на тепловой ход печи. Эти модели могут использоваться также для оценки теплового хода печи при выходе из строя температурных датчиков.

Рекомендательные модели, например «Загрузка металлосодержащих», «Загрузка флюсов», «Расход кислорода» и т. д., отслеживают процессы в печи и, в зависимости от ситуации, выдают оператору рекомендации к действию. На практике оператор не всегда точно может сказать, сколько надо загружать в данный момент, например, флюсовых добавок, и загружает их «на

глазок». Результатом может стать недогруз или перегруз, а последствия неправильных действий станут очевидными спустя некоторое время, когда расплав будет уже перегружен или недогружен флюсами. Рекомендательные модели помогают избежать этого, предупреждая дисбаланс в процессе.

Прогнозирующие модели позволяют в реальном времени оценивать качество получаемых продуктов. Химические анализы штейна и шлака производят раз в два и четыре часа соответственно. Модели прогнозирования содержания меди в штейне и шлаке в режиме реального времени показывают операторам информацию о том, на какой состав конечных продуктов ведется процесс в данный момент.

Обладая такой информацией в полном объеме, операторы могут вносить изменения в технологический процесс не по результатам предыдущего управляющего воздействия, а при проявлении первых тенденций к отклонению от заданных параметров. Это позволяет обеспечивать стабильное качество продуктов плавки, что важно для оптимизации работы последующих производственных переделов плавильного цеха.

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АСУ ПЕЧИ ВАНЮКОВА

Интеллектуальная АСУ печи Ванюкова выполнена на базе платформы Gensum G2, предоставляющей мощные средства для построения экспертных систем сложных физико-химических и технологических процессов.

Архитектурно и функционально интеллектуальная АСУ печи Ванюкова выглядит как дополнение к существующей автоматизированной системе управления (АСУ ПВ-3), т. е. как расширение ее функциональных и информационных функций.

АСУ ПВ-3, построенная на базе ПЛК ControlLogix и SCADA-системы RSVIEW от компании Rockwell Automation, выполняет функции мониторинга, передачи управляющих воздействий, реализует защиты и блокировки. Система решает задачи автоматического управления загрузкой печи, процессами подачи природного газа, воздуха, кислорода и кислородо-

воздушной смеси на плавку и обогрев печи, миксеров и сифонов.

Интеллектуальная АСУ печи Ванюкова (ИАСУ ПВ-3) на основании исходной информации, получаемой из АСУ ПВ-3, и расчетов по описанным выше моделям анализирует состояние технологического процесса и выдает оператору и старшему плавильщику рекомендации по поддержанию технологического баланса и достижению поставленных целей по качеству и количеству конечных продуктов плавания.

Более подробно процесс обработки данных и выработки решений в ИАСУ печи Ванюкова (рис. 3) выглядит следующим образом. В момент запуска экспертной системы происходит инициализация базы знаний, содержащей экспертные представления о процессе и сопутствующие математические расчеты, и построение виртуальной модели печи. От традиционной АСУ ПВ-3 в систему в режиме реального времени поступают данные по измеряемым параметрам (скорости подачи шихтовых материалов, количество подаваемого кислорода, температура воды на входе и на сливе из коллектора, давление кислородо-воздушной смеси и т. д.). После идентификации соответствия виртуальной модели и данных реального времени критериям технологической согласованности производится анализ текущей ситуации на предмет нарушения технологического баланса. При нарушении технологического баланса система идентифицирует ситуацию как конфликтную и в автоматическом режиме вырабатывает решение по его восстановлению. Полученные решения, а также информация о текущем состоянии вместе с информацией о конфликтах отображаются на АРМ оператора ИАСУ ПВ-3.

Помимо работы в режиме поддержки принятия решений по управлению печью Ванюкова, ИАСУ может работать в режиме «Тренажер». В данном режиме, помимо стандартных характеристик, в системе имитируются такие технологические параметры, как положение задвижек в системе подачи дутья, температура воды на выходе из кессонов, температура в агтйке, давление на фурмах и т. д. Настроенная на работу в режиме тренажера, система используется для обучения операторов, проверки



гипотез, тестирования различных алгоритмов управления на виртуальной модели, а не на промышленном агрегате. Это позволяет проводить обучение операторов в условиях, приближенных к реальным, не рискуя при этом нарушить безопасность и стабильность технологических и производственных процессов плавильного участка.

ИАСУ ПВ-3 обладает интуитивно понятным и удобным в использо-

вании графическим пользовательским интерфейсом. Информация по основным параметрам управления печью Ванюкова выводится на центральный дисплей (рис. 4), где отображаются: тренды по удельному расходу кислорода на тонну сырья (окно 1), содержанию SiO_2 в шлаке (окно 2), содержанию меди в штейне (окно 3), а также индикаторы содержания меди в шлаке (4), соотношения флюсов и металлосодержащих (5),

РИС. 3. ▲ Система принятия решения в ИАСУ ПВ-3

РИС. 4. ▼ Главное окно АРМ оператора ИАСУ ПВ-3



качества загрузки (6), перепадов температур первого и второго ряда кессонов, температуры расплава (7), почасовые данные загрузки в печь по бункерам или по материалам (8). На экран ИАСУ ПВ-3 выводится также информация о заданном режиме работы по удельному расходу кислорода (10) и по текущим конфликтам управления процессом (9). Такая подробная визуализация процесса плавки позволяет повысить качество контроля технологического процесса и ускорить принятие решений по его корректированию.

Значительную роль в окислении расплава играет соотношение подаваемого дутья и загружаемой шихты. График «Удельный расход кислорода на тонну металлосодержащих» (рис. 4, окно 1) дает оператору возможность в реальном времени отслеживать изменения по этому параметру и своевременно корректировать объемы загрузки, что, в свою очередь, позволяет удерживать содержание меди в штейне в заданных пределах (окно 3).

При этом отображение в окне 3 всех трех трендов — результаты двухчасового химического анализа меди в штейне (желтая линия), расчет по фактическим данным (зеленая) и рекомендуемое по модели управление (синяя) — позволяет отслеживать динамику формирования качества конечной продукции по штейну.

Пики зеленых линий в окнах 1 и 3 отражают операцию фурмования печи и являются технологически обусловленными. При этом совпадение пиков является проявлением физико-химических особенностей плавки сульфидного сырья: повышение удельного расхода кислорода на тонну металлосодержащих переокисляет расплав, что приводит к горячему ходу печи и, соответственно, к увеличению содержания меди в штейне подфурменной зоны.

При выполнении некорректного действия, негативно влияющего на качество продуктов плавки, результат сразу отражается в окне управления. Соответственно, оператор может быстро принять меры по устранению негативных последствий и избежать, например, механических потерь меди со шлаком (индикатор 4).

На индикаторе «Качество загрузки» (окно 6) в реальном времени отобра-

жаются результаты оценки качества загружаемой шихты (качество материалов, их процентное соотношение и влажность). Показания индикатора изменяются по мере изменения пропорций загружаемых материалов и дают возможность оператору своевременно предпринять соответствующие ситуации действия. Например, повышение влажности очень интенсивно понижает температуру расплава, что заставляет использовать дополнительное количество природного газа для поддержания температурного режима процесса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ

Интеллектуальная автоматизированная система управления на базе платформы Gensum G2 позволяет отслеживать динамику по параметрам управления технологическим процессом печи Ванюкова, а также вырабатывать и выдавать в режиме реального времени рекомендации по изменению управляющих воздействий.

Достоинством интеллектуальной автоматизированной системы управления и ее важным отличием от традиционных АСУ ТП является то, что ИАСУ дает возможность эффективно управлять процессом даже при отсутствии или недостоверности значительной части исходных данных. Реализованные в системе интеллектуальные модели позволяют проводить в режиме реального времени оценку и прогнозирование ряда важ-

нейших параметров по косвенным данным. Это значительно расширяет сферу применения технологий автоматизации и позволяет применять АСУ для управления динамически изменяющимися процессами, такими как печь Ванюкова.

С точки зрения конечного пользователя (оператора печи Ванюкова), система ИАСУ ПВ-3 выполняет две следующие основополагающие функции: максимально полное отслеживание параметров управления технологическим процессом печи Ванюкова; выдачу рекомендаций по оптимальному ведению технологического процесса.

Если оценивать систему по критериям повышения эффективности технологического процесса, то, прежде всего, ИАСУ печи Ванюкова создает необходимые условия для повышения стабильности процесса плавки.

На рис. 5 и 6 представлены графики и коррелограммы изменения основного критерия управления — удельного расхода кислорода на тонну металлосодержащих — в течение суток до и после внедрения системы.

И графики, и коррелограммы наглядно демонстрируют значительное изменение характера ведения процесса после внедрения ИАСУ. Так, на коррелограммах, характеризующих степень стабильности процесса, отчетливо видно, что в феврале 2011 г. процесс плавки «помнит» себя в течение лишь 20 мин., в то вре-

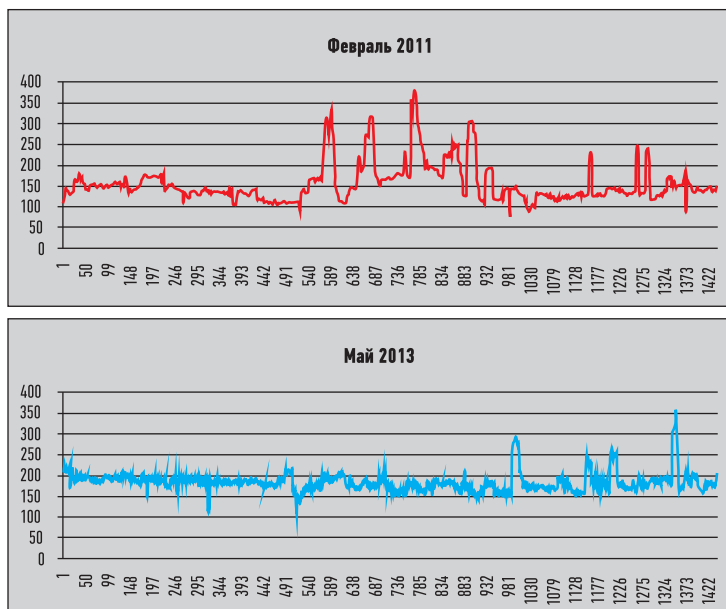


РИС. 5. ◀
Изменение удельного расхода кислорода в периоды до и после внедрения ИАСУ ПВ-3

мя как в мае 2013 г. — в течение двух часов, то есть на протяжении всего отрезка между получением данных химанализа, по которым при необходимости ведется корректировка управляющих переменных.

Более глубокий анализ результатов внедрения ИАСУ ПВ-3 позволяет констатировать, что неустойчивость значений удельного расхода кислорода на тонну металлосодержащих в период после внедрения ИАСУ ПВ-3 существенно сократилась.

Наблюдается устойчивая тенденция ведения процесса в области среднего значения критерия около

200 м³/т (180–212 против 146–173 в первом периоде), что соответствует физико-химическому состоянию процесса при работе на штейны с содержанием меди 55–60%.

Внедрение ИАСУ ПВ-3 вооружило операторов-технологов новой информацией по многим критериям, что дало возможность соразмерять количественно необходимые управляющие воздействия и привело к стабилизации процесса плавки в жидкой ванне.

В целом ИАСУ печи Ванюкова позволяет обеспечить максимально эффективное протекание физико-

химических процессов, что сказывается на качестве продуктов плавки, обеспечивая в итоге улучшение качества планирования работы последующих переделов Медного завода ОАО «ГМК «Норильский никель»». ●

Девочкин Алексей, главный инженер Медного завода ОАО «ГМК «Норильский никель»:

«В процессе эксплуатации ИАСУ ПВ-3 показывает себя удобным и надежным инструментом, обеспечивая в режиме реального времени оценку количества и качества загрузки подаваемой в печь шихты, прогноз качества конечных продуктов, визуализацию действий оператора по критериям технологической согласованности, автоматический анализ качества управления технологическим процессом. Система качественно расширяет возможности АСУ ПВ-3 и позволяет решать задачи ведения технологического процесса в узком коридоре значений основных технологических параметров, выполняя контроль всех плановых заданий как по качеству конечных продуктов, так и по производительности».

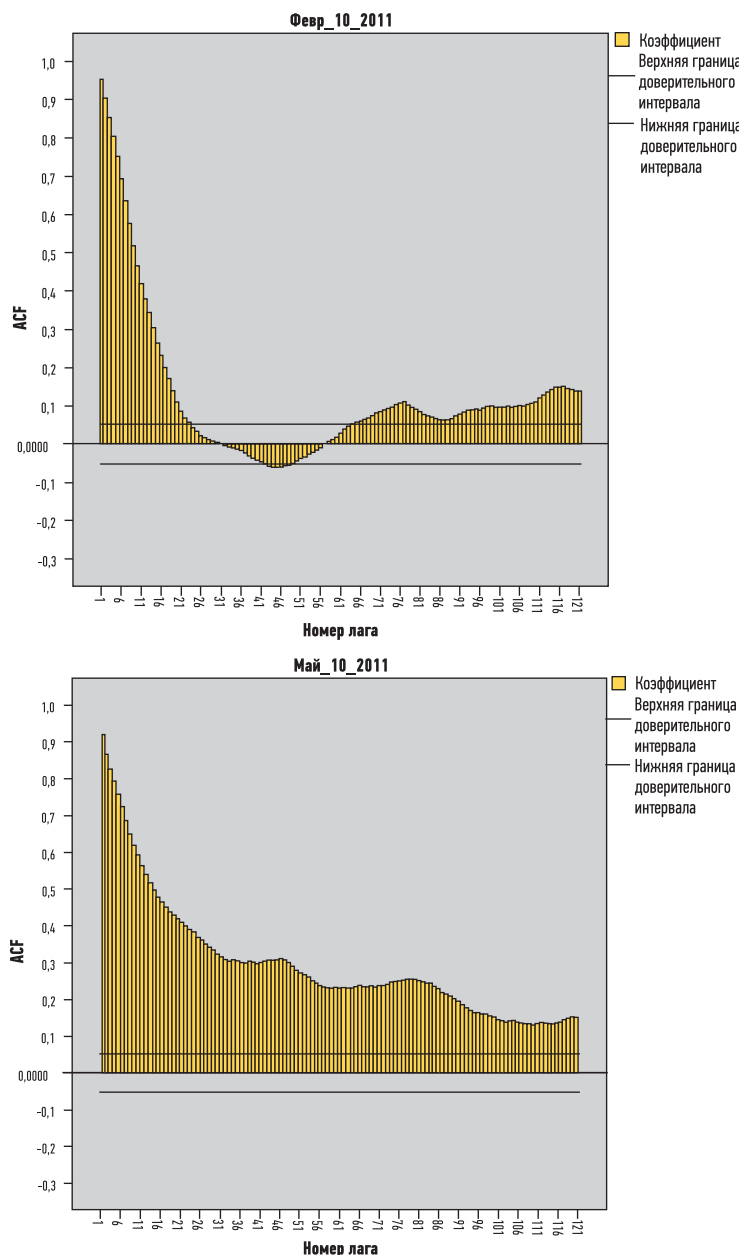


РИС. 6. ▶ Коррелограммы удельного расхода кислорода в периоды до и после внедрения ИАСУ ПВ-3