



О ПОСТРОЕНИИ АСУТП В МЕТАЛЛУРГИИ

А.В. Старосоцкий (ООО "НПП ОРАКУЛ"),
С.А. Храпко, В.Г. Скрябин, М.В. Самборский (Донецкий НТУ)

Рассмотрены особенности построения и задачи, решаемые интеллектуальными АСУТП в металлургии. Затронуты вопросы использования систем моделирования в составе АСУТП для оптимизации сталеплавильного производства.

О некоторых задачах АСУТП в металлургии

Система управления любого предприятия предназначена, прежде всего, для обеспечения наивысшей эффективности его деятельности, что в упрощенном варианте можно трактовать, как получение максимальной прибыли. Вместе с тем, анализ рынка решений программных и аппаратных средств автоматизации вынуждает предположить, что, зачастую, роль, место и возможности АСУТП конкретного производства не в полной мере соответствуют целям и задачам единой системы управления. Причины такого явления часто кроются не в том, что руководитель не хочет заниматься развитием автоматизации ТП, программист не может программировать, а производитель не предоставляет достаточный ассортимент средств построения АСУТП. Как правило, предприятие обладает мощным парком вычислительной и измерительной техники, использует достаточное число добротного собственного и лицензионного ПО, но так и не может четко определить роль АСУТП в решении стоящих перед ним задач.

Существует простая, на первый взгляд, задача расчета себестоимости выпускаемой продукции:

$$C = (\sum_{i=0}^n q_i c_i + \tau c_\tau) / Q,$$

где Q – количество произведенной готовой продукции; q_i , c_i – количество и себестоимость израсходованных материалов и энергоносителей, τ – количество затраченного времени; c_τ – плановая стоимость единицы времени при данных условиях работы предприятия (аналог условно-постоянных расходов).

Ретроспективный расчет себестоимости – очень важная задача, решаемая на любом предприятии, даже если в составе системы управления этого предприятия АСУП отсутствует. Однако, оперативная оценка текущей и прогнозируемой себестоимости еще более важна для того, чтобы иметь возможность правильно повлиять на ход ТП еще до получения конечного продукта, и осуществляться эта оценка должна именно АСУТП. Далеко не каждое предприятие может заявить, что его АСУТП сегодня способно реализовать даже эту задачу, а ведь расчет себесто-

имости – не самоцель, а лишь часть входной информации для системы оптимизации работы всей технологической цепочки и отдельных ее звеньев.

Кроме того, система управления должна "понимать" конечную цель ТП (в частности – требования к химическому составу и служебным свойствам металла). Реализовать получение такой информации системой технически просто, а вот организационно... Вряд ли стоит всерьез рассматривать случай, когда сталевар перед началом каждой плавки будет вручную вводить требования заказа, хотя вообще без ручного ввода здесь не обойтись, но решение целесообразнее искать в обеспечении должного взаимодействия АСУТП и АСУП. Подобные задачи приводят к "размыванию" границы между АСУТП и АСУП, хотя говорить о полном слиянии пока не приходится ввиду некоторых различий в принципах управления предприятием и управления ТП.

Различия, прежде всего, заключаются в том, что реализация "АСУ абстрактного ТП" может решить хоть и безусловно необходимые, но частные задачи (сбор, первичная обработка, хранение и отображение абстрактной информации, автоматизация элементарных операций), но мало приблизить к успешному решению задач оптимизации. Возможно, что утверждения об аналогии автоматизации документооборота и бухгалтерского учета кондитерской фабрики, аптечного киоска, металлургического завода и атомной электростанции не лишены смысла, но труднее утверждать и согласиться с тем, что должны аналогично строиться и АСУ мало похожих Технологических Процессов. При прочих равных условиях, более эффективной будет система, в наибольшей степени учитывающая особенности конкретного объекта управления. Очевидно, что в системе управления металлургическим предприятием, как правило, преобладают специалисты-металлурги. Если мы говорим о том, что АСУТП – неотделимая часть единой системы управления, то такая АСУТП тоже должна обладать "металлургическими знаниями".

Предположим, что термин "образование" подразумевает: багаж теоретических знаний; учет накопленного опыта; стремление к самообразованию; наличие круга общения, способствующего повышению

образовательного уровня. Тогда в отношении "образованной" АСУТП определение может звучать так:

- комплекс взаимодействующих моделей ТП;
- учет формализованного представления технологической документации (инструкции, технологические карты и пр.);
- использование механизмов адаптации и самообучения на основании информации обратной связи;
- наличие подготовленного технологического персонала и специалистов информационных технологий, способствующих развитию "нечеловеческой" части АСУТП.

Некоторые аспекты построения "образованных" (интеллектуальных) АСУТП рассмотрим подробнее.

Описание и сопровождение ТП

АСУТП сталеплавильного производства, претендующая на способность оптимально (или, по крайней мере, рационально) вести выплавку и обработку стали, должна уметь адекватно описать эти процессы. Для этого необходимо построить:

- тепловые модели агрегатов технологической цепочки выплавки и внепечной обработки;
- физико-химические модели взаимодействия фаз (металл, шлак, газ и др.);
- гидродинамические модели массопереноса и перемешивания фаз.

Приведенный выше перечень условный, так как строгие границы между тепловой, физико-химической и гидродинамической моделью провести нельзя. По сути, это единая система, которая, например, для конкретного сталеплавильного агрегата должна обеспечить расчеты:

1. поступления тепла в ванну с учетом КПД энергоносителей (например, КПД электрических дуг в зависимости от длины дуги, толщины и вспененности шлака и т. д.);
2. потерь тепла (через подину, излучением, с отходящими газами);
3. тепла, необходимого для нагрева и плавления загруженных материалов;
4. средней температуры металла и шлака;
5. перегрева шлака и поверхности металла на основе учета гидродинамики и скорости перемешивания металла;
6. скоростей плавления и растворения твердых добавок в жидком металле и шлаке (металлолом, шлакообразующие, раскислители, легирующие);
7. взаимодействия фаз на границах контакта (металл–шлак, металл–подина, металл–легирующие, шлак–шлакообразующие, металл–кислород дутья) на основе равновесного расчета и учета гидродинамики ванны (мощность перемешивания, скорость потоков металла, скорость доставки и отвода реагентов на границы раздела фаз);
8. среднего химического состава металла, шлака и газа;
9. неравномерности химического состава и окисленности металла по глубине ванны и т. д.

Должна быть эта модель строго теоретической? Крайне желательно, но сегодня это практически не реализуемо. Наука пока не позволяет за отведенное для принятия решения время строго описать все происходящие в агрегате процессы, тем более, в условиях отсутствия абсолютно надежных экспериментальных данных о поведении объекта (пока сомнительна практическая реализация решения уравнения Шредингера даже для одной молекулы воды).

Нетрудно показать, что для адекватного решения задач оптимизации малоприспособно использование чисто статистической модели (можно вспомнить избитую шутку о том, что бывает малая ложь, большая ложь и статистика, а также то, что в каждой шутке – лишь доля шутки).

Как правило, реальная модель имеет следующие особенности:

- строгая теоретическая основа, описывающая основные тенденции процессов (законы сохранения, термодинамика расплавов, гидродинамика потоков и т. п.);
- использование для представления недостающей информации экспериментальных данных (константы равновесия и теплоты химических реакций, коэффициенты активности компонентов расплавов и т. д.);
- механизмы автоматической адаптации и самообучения по сигналам обратной связи и простой физической смысл подстраиваемых параметров (объем печи с учетом износа, насыпная плотность, химический состав, теплоемкость и загрязненность металлолома и т. д.);
- наличие "быстрой" по ходу плавки (теплоемкость по замерам температуры, химический состав заварки по пробам) и "медленной" по результатам ранее проведенных плавов (КПД ввода энергоносителей различными устройствами и др.) самоподстройки;
- возможность просчитать плавку от начала до конца за приемлемое (как правило – не более 5 с) время (именно этот фактор оказывает наибольшее влияние на допустимую "теоретическую полноту" и сложность модели).

На основании модели ТП строится система слежения и прогнозирования его хода, в которой, например, расчет текущей и прогнозируемой себестоимости – лишь незначительный сопутствующий элемент. Несмотря на практическую ценность этих результатов работы, основное назначение этой модели – обеспечить "комфортные условия" функционирования подсистемы выработки управляющих воздействий механизмам и устройствам, участвующим в ТП.

Перевод процесса из текущего состояния в заданное

Часто используемые в металлургии чисто статистические системы управления (так называемые "командные аппараты") не имеют никаких моделей, поэтому говорить об оперативной оптимизации с использованием таких систем мы не будем.

В идеале, переводом объекта из текущего состояния в заданное путем формирования и выдачи управляющих воздействий механизмам и устройствам должна заниматься система, построенная на основе строгой теории оптимального управления (работы Л.С. Понtryгина и др.). Примером успешной реализации такого подхода является решение задач управления летательными аппаратами, но, к сожалению, случаи его применения в задачах управления сталеплавильными агрегатами нам не известны.

Вероятно, если оснастить дуговую печь или конвертор специалистами, датчиками и вычислительной техникой, сравнимыми по количеству и качеству с используемыми для управления космическими аппаратами, то появится надежда построить не менее строгую систему оптимального управления и в металлургии.

В металлургическом производстве очень часто приходится учитывать следующее:

- неполноту, а иногда недостоверность и противоречивость входной информации (например, замер температуры при неоднородности ванны до 70° С);
- отсутствие некоторой информации у АСУТП при ее наличии у технологического персонала (это может быть связано, например, с особенностями коммерческой деятельности предприятия);
- неспособность некоторых устройств точно обрабатывать управляющие воздействия (пример – лопату в металлургии еще никто не отменил);
- большое число управляющих переменных, существенно влияющих на результат (20...30 ед.);
- отсутствие строгой высокоточной аналитической модели объекта управления в явном виде или в виде системы дифференциальных уравнений;
- наличие богатого накопленного опыта практического сталеварения, не использовать который было бы нерационально.

В этих условиях построение АСУТП на базе строгой теории оптимального управления, даже в случае успеха, может привести в область некорректно поставленных задач, адекватность решения которых реальному производству не гарантирована. Приходится искать рациональные компромиссы между строгостью и устойчивостью решения в виде эвристических алгоритмов оптимизации. Получаемые при этом режимы являются не строго оптимальными, а оптимизированными по наиболее важным показателям (т. е. субоптимальными) и, главное, устойчивыми. Поиск таких алгоритмов с помощью одних лишь математических методов вряд ли возможен, поэтому к успеху может привести лишь согласованная работа организатора производства, технолога, предметного ученого, программиста, математика, электрика и т. д.

Кроме того, необходимо учитывать, что в металлургии главным лицом, принимающим решение (и, в конечном итоге, отвечающим за него) является технолог (оператор). Это означает, что автоматизиро-

ванная система управления должна уметь не только оптимизировать технологию, но и эффективно взаимодействовать с оператором, зачастую не навязывать, а предлагать возможные варианты решения, поддерживая требования технолога (взаимодействие подразумевает также взаимное обучение как оператора, так и АСУТП).

На наш взгляд, реальная система управления должна:

- иметь достаточно точную и устойчивую модель объекта, не превышающую, однако, некоторый порог вычислительной сложности;
- учитывать накопленный опыт практического сталеварения (например, в виде "шаблонов", на основе которых строится первичный проект плавки);
- уметь подстраиваться под особенности каждой плавки;
- учитывать результаты проведенных плавки для самообучения, адаптации;
- обновлять "базу знаний" по результатам проведенных "удачных" и "неудачных" плавки (с гибким механизмом формирования критериев отбора);
- непрерывно пересчитывать все параметры ванны от текущего момента до конца плавки (в том числе выпуск, легирование на сливе и обработку на УПК) при выборе оптимизированного (рационального) режима;
- обеспечивать гарантированное попадание в температуру и химический состав жидкой стали с минимальными затратами;
- рассчитывать себестоимость полученного металла и на основе полученных показателей изменять проект плавки до получения наилучших показателей. Выбор направления и величины изменения управляющих воздействий может производиться либо на основе эвристических алгоритмов, либо на основе упрощенных моделей, отражающих основные зависимости результатов плавки от управляющих параметров.

Построенные таким образом системы способны обеспечить эффективную работу сталеплавильного производства и допускают развитие вплоть до возможностей систем строгого оптимального управления.

О системном программном и аппаратном обеспечении

Выбор системного программного и аппаратного обеспечения для построения АСУТП – предмет отдельного и большого обсуждения. Впечатление о перенасыщенности рынка предложений в этой сфере может оказаться обманчивым, если учесть, например, следующее:

- не всегда безобидны последствия события в стиле "Программа "ИДЕАЛ" совершила недопустимую операцию и будет закрыта";
- некоторые модные стремления (например, управление вакууматором с помощью мобильного телефона) могут привести к затратам на администрирование ресурса несравненно большим, нежели затраты на создание ресурса;

– некоторые возможности систем (например, умение обнаружить устройство "Помытый коврик для мыши") могут оказаться невостребованными;

– эксплуатация сверхнадежного контроллера может оказаться более дорогим и хлопотным и менее благодарным занятием, чем использование нескольких, как правило, не менее надежных и гораздо более дешевых и производительных промышленных компьютеров;

– чрезмерная закрытость (поддержка единственным производителем) системного программного и аппаратного обеспечения иногда может соответствовать перспективным потребностям производителя, но почти никогда – заказчика;

– организация взаимодействия между "разношерстными" подсистемами – задача, как правило, с очень дорогим и не всегда эффективным решением.

Главное влияние на выбор системного программного и аппаратного обеспечения АСУТП оказывают,

все же, потребности, уровень развития, возможности и симпатии конкретного предприятия.

Авторы не ставят цель навязать свой выбор, но предпочитают использовать для решения своих задач программные продукты QNX Software Systems Ltd (QSSL, Канада), средства промышленной автоматизации семейства Advantech (Advantech Co., Ltd.) и их аналоги.

Выводы

1. Сталеплавильные предприятия вправе рассчитывать на обладание интеллектуальными АСУТП, позволяющими добиваться высоких ТЭП производства.

2. АСУТП должна максимально учитывать технологические особенности объекта управления.

3. Создание и развитие таких систем – дело "комплексных" коллективов, работающих на "стыке областей знаний" и специализирующихся на задачах автоматизации именно сталеплавильного производства.

Старосоцкий Андрей Васильевич – ведущий инженер-программист ООО "НПП ОРАКУЛ".

Контактный телефон в г. Донецке (37355) 22-27-7, E-mail: avs@oracul.org

Храпко Сергей Александрович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, докторант,

Скрябин Виталий Григорьевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, доцент,

Самборский Максим Валентинович – ассистент Донецкого национального технического университета кафедры "Электрометаллургия и конвертерное производство стали".

Контактные телефоны в г. Донецке: (380622) 57-76-02, (38062)334-47-24, (380622) 99-00-86.

E-mail: xca@oracul.org, svg@oracul.org, svg@oracul.org

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**С.К. Носов, И.В. Суковатин (Нижнетагильский металлургический комбинат),
А.З. Лукашов (ГИВЦмет)**

Рассматриваются проблемные аспекты структурного синтеза системы управления крупным металлургическим предприятием исходя из специфики современных экономических условий функционирования. Структура управления ориентирована на эффективное решение задач инновационной и производственной деятельности.

Период длительного экономического хаоса при переходе России на рыночные принципы хозяйствования отрицательно сказались на состоянии производственной базы металлургических предприятий, усугубили их технологическую отсталость, обнажили неадекватность организационно-управленческих механизмов и структур современным целям и задачам эффективного функционирования. Для большинства российских металлургических предприятий выход из создавшейся кризисной ситуации сопряжен с огромными затратами материальных ресурсов, которыми они, как правило, не об-

ладают. Современные условия рыночной экономики со стороны потребителей характеризуются непрерывной динамикой цен и спроса на металлопродукцию по ассортименту, качеству, объемам, срокам поставки и др. Со стороны поставщиков ресурсов и производителей оборудования рынок характеризуется непрерывным изменением цен и предложений на ресурсы, сырье, услуги, новые технологии, узлы, агрегаты и др. Наряду с конкуренцией между традиционными производителями металлопродукции США, Японии и Европы этот сектор рынка активно осваивают быстро развивающи-

еся страны третьего мира. Чтобы успешно конкурировать на мировом рынке металлопродукции современное металлургическое предприятие должно уметь также динамично перестраиваться на выпуск новых видов продукции, осваивать новые виды ресурсов, внедрять новые агрегаты и технологии в действующее производство. Таким образом, российские металлургические предприятия должны иметь достаточно ресурсов, чтобы непрерывно решать три основные задачи: обеспечивать эффективность существующего производства, осуществлять его модернизацию и диверсификацию.