

УДК 681.05.015

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

А.Л. Генкин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: algenkin@yandex.ru

И.В. Никулина

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: ivnikulina@yandex.ru

Ключевые слова: металлургические процессы, адаптивные системы управления с идентификатором, методы идентификации, параметрическая идентификация, структурная идентификация, адекватные математические модели, структурная и параметрическая неопределенность.

Аннотация: Приведены характерные особенности металлургических процессов как объектов управления. Обоснована необходимость применения методов адаптивной идентификации для цели математического моделирования металлургическими процессами. Указана основная причина, затрудняющая практическое применение методов адаптивной идентификации в металлургии. Приведено большое число примеров эффективного использования методов адаптивной идентификации в металлургии. Сформулированы три направления научных исследований, реализация которых позволит существенно уменьшить трудности практического применения методов идентификации в металлургии.

1. Введение

Металлургические процессы как объекты управления имеют ряд характерных особенностей, которые необходимо учитывать при решении проблем идентификации и управления. К ним следует отнести следующие особенности.

- 1) Наличие большого числа входных воздействий, влияющих на выходные переменные, причем точное число неконтролируемых входных возмущений обычно неизвестно.
- 2) Сложный характер зависимости между входными воздействиями и выходными переменными; наличие внутренних перекрестных связей; переменная структура объекта, зависящая от внешних условий или специально формируемая.
- 3) Существенная нестационарность и большая инерционность процессов; наличие значительных переменных запаздываний.
- 4) Ограниченное число датчиков и измерительных устройств; высокий уровень помех.
- 5) Наличие человека в контурах управления с целенаправленным активным поведением.

Широкое практическое применение методов идентификации в металлургии в 70-х годах прошлого века, в основном, вызвано трудностью организации управления металлургическими процессами в условиях значительной структурной и параметрической неопределенности относительно их адекватных математических моделей. Именно поэтому в эти годы получили развитие методы адаптивной идентификации, в основе которых лежит периодическая настройка (выбор) значений неизвестных параметров математических моделей по измеряемым входным и выходным сигналам моделируемого процесса. Выбор значений параметров осуществляется с помощью различных алгоритмов параметрической идентификации. На основе применения методов адаптивной идентификации созданы АСУ процессами выплавки стали, горячей и холодной прокатки стального листа, травления и нанесения защитного покрытия на стальную полосу, горячей прокатки труб; построены адекватные математические модели технологических процессов, протекающих в нагревательных печах и многих других металлургических агрегатах [1, 2, 3 и др.]. Потребность и актуальность практического использования методов адаптивной идентификации сохраняется также в настоящее время.

Основная причина, затрудняющая практическое применение методов адаптивной идентификации, – сложность построения адекватных настраиваемых математических моделей металлургических процессов, что требует применения методов идентификации и/или методов моделирования на основе использования открытых законов естествознания и известных эмпирических закономерностей.

Цель настоящей работы:

- проиллюстрировать высокую практическую значимость применения методов адаптивной идентификации для цели организации управления металлургическими процессами;
- акцентировать внимание исследователей на необходимости разработки комплексного метода моделирования металлургических процессов, представляющего собой рациональное объединение содержания методов идентификации и методов моделирования реальных объектов на основе использования открытых законов естествознания и известных эмпирических закономерностей.

2. Примеры применения методов идентификации

Пример 1. Управление процессом выплавки чугуна в доменной печи предполагает стабилизацию заданного химического состава продуктов плавки и температуры жидкого чугуна, так как доменный процесс существенно зависит от множества контролируемых и неконтролируемых возмущений, зачастую изменяющихся во времени. В связи с этим разработка математической модели, адекватно описывающей протекающие в домне процессы, невозможна без их математического моделирования. Метод идентификации процессов в доменной печи по каналу «рудная загрузка – содержание кремния в чугуне» изложен в [1]. Данный канал моделируется с помощью линейного алгебраического уравнения с учетом транспортного запаздывания. Для идентификации возмущений применяется модель авторегрессии – скользящего среднего. Изложенный подход к построению модели использован при создании АСУ процессом выплавки чугуна для Ждановского металлургического комбината им. Ильича.

Пример 2. Предлагаемый в [4] подход к созданию системы автоматического управления электрическим режимом электродуговых печей позволяет достичь наиболее энергетически выгодных режимов работы электродуговых агрегатов за счет формирования в реальном масштабе времени уставок для систем регулирования положения электродов. Применение в САУ алгоритмов адаптивной идентификации позволяет

своевременно оценить изменения состояния объекта управления, целевых функций управления, обеспечивая тем самым компенсацию в процессе управления имеющихся нестационарностей объекта управления. Техническая реализация системы в виде алгоритмической и программной надстройки над уже существующими системами управления электрическим режимом позволяет снизить капитальные затраты внедрения таких систем, одновременно обеспечивая повышение экономических показателей работы электродуговых агрегатов переменного тока.

Пример 3. В настоящее время непрерывная разливка стали в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является наиболее прогрессивным методом получения заготовок (слябов) для дальнейшей обработки в листопрокатных станах. Проблемой является качественное управление температурой металла в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) МНЛЗ, где, собственно, и происходит затвердевание металла. Для решения этой проблемы в работе [5] предложен дополнительный контур идентификации траекторий охлаждения по результатам металловедческого анализа качества металла, разработан интеллектуальный алгоритм адаптивной динамической идентификации. Предложен также контур управления для коррекции исходной настройки системы управления процессом охлаждения металла в ЗВО МНЛЗ. В результате использования указанных предложений обеспечивается снижение объема некондиционных заготовок, расход хладагента и электроэнергии, улучшение санитарно-гигиенических условий обслуживания МНЛЗ и повышение ее производительности за счет повышения управляемости и контролируемости процесса охлаждения слитка.

Пример 4. Нагрев металла перед прокаткой осуществляется, в основном, с целью повышения его пластичности при дальнейшей его обработке в прокатном стане. Задачей оптимизации процесса нагрева является выбор температуры каждой из зон печи таким образом, чтобы обеспечить при известной начальной температуре нагреваемого металла заданную конечную (на выходе из печи) температуру нагрева металла при минимальном расходе топлива. Параметрическая идентификация процессов нагрева металла в печи перед прокаткой осуществляется с помощью адаптивных алгоритмов [6] с различным типом обработки входных данных. Под адаптивным алгоритмом идентификации понимается алгоритм, позволяющий уточнять значения параметров математической модели по мере получения дополнительной информации о входных и выходных сигналах объекта. Разработанные в [6] методы параметрической идентификации используются при создании алгоритмического обеспечения АСУ ТП методических печей на современных металлургических комбинатах.

Пример 5. Прокатное (в первую очередь, листопрокатное) производство является наиболее автоматизированным на современных металлургических комбинатах. В работе [7] приведено описание традиционного подхода к решению проблем идентификации и моделирования:

- использование методов адаптивного моделирования для описания производства холоднокатаной листовой стали;
- совместное использование рекуррентных, рекуррентно-итерационных методов в составе алгоритма структурной идентификации технологии производства листового проката;
- применение методологии адаптивного определения приоритетов показателей качества комплекса критериев, характеризующих механические свойства листового проката.

Пример 6. Для устранения существующих недостатков управления охлаждением металла при его горячей прокатке авторами [5] предложен новый принцип управления, предлагающий в качестве исполнительного органа охлаждения использовать не форсунки, а охлаждающие ролики. Разработана функциональная схема управления ролико-

вым охлаждением листа. Идентификация процесса осуществляется с помощью имитационной математической модели, которая непрерывно подстраивается под объект. На основе предложенного метода организации идентификации удается непрерывно регистрировать основные технологические показатели объекта управления (температуру хладагента на входе и выходе из ролика, расход хладагента, величину фактического теплоотвода). Использование прогрессивных методов идентификации с включением идентификатора-наблюдателя с многовариантной имитационной моделью в контур управления обеспечивает непрерывную адаптацию системы на основании реальных измерений под текущие условия протекания технологического процесса и повышает точность управления охлаждением.

Пример 7. Удаление окалины с поверхности холоднокатаной стали – одна из сложнейших операций технологического процесса, поскольку состав и структура окалины зависит от различных причин (зачастую непредсказуемых) при термообработке металла. Для удаления слоя окалины с поверхности металла в прокатных цехах применяют непрерывно-травильный агрегат (НТА), в состав которого входят щелочные и кислотные ванны, через которые протягивается металлическая лента.

Для процесса кислотно-щелочного травления нержавеющей ленты построена динамическая модель первого порядка, моделирующая канал «скорость движения ленты – плотность раствора в кислотной ванне» [1]. С целью экономии расхода травильных компонент также построен адаптивный идентификатор-наблюдатель второго порядка, который позволяет построить динамическую модель и восстановить ненаблюдаемую переменную – скорость изменения плотности раствора.

Пример 8. С целью нанесения антикоррозионного цинкового покрытия на поверхность листового проката применяют агрегаты непрерывного горячего цинкования. На Череповецком металлургическом комбинате [1] первоначально обезжиренная (с помощью НТА) и очищенная полоса поступает в проходную печь, где осуществляется ее термообработка. Далее полоса из печи поступает в ванну, где осуществляется покрытие поверхности стальной полосы расплавленным цинком. Для обеспечения высоких динамических характеристик процесса регулирования толщины цинкового покрытия построена адаптивная система управления с эталонной моделью. Идентификация объекта управления этой адаптивной системы осуществляется на этапе предварительного исследования.

Пример 9. Адаптивная система управления трубопрокатным станом предназначена для стабилизации геометрических размеров готовых труб [1, 3]. Для предсказания толщины стенки трубы использована линейная модель трубопрокатного стана. Идентификатор в этой системе выполняет функции подстройки коэффициентов каналов преобразования контролируемых внешних и управляющих воздействий, а алгоритм идентификации базируется на итерационной процедуре, которую можно отнести к модификации алгоритма Качмажа. Система управления подстраивает стан перед прокаткой каждой трубы. Одновременно после каждой прокатки корректируется модель стана. Система реализована на трубопрокатном агрегате 160 Первоуральского новотрубного завода. В 1976 году коллектив разработчиков системы был удостоен Государственной премии СССР по науке и технике.

3. Заключение

Исходя из условий проектирования и функционирования адаптивных систем с идентификатором для автоматизации металлургических процессов, можно сделать три вывода.

Во-первых, для ускорения проектирования указанных систем необходимо разработать широкий набор методов построения адекватных настраиваемых (по эмпирическим данным) математических моделей металлургических процессов, учитывающих особенности автоматизируемых объектов. Согласно терминологии идентификации систем, эти методы по своему назначению, функциям и задачам следует отнести к классу методов структурной идентификации. Поэтому представляется, что одним из важных направлений идентификации систем является создание методологии структурной идентификации металлургических процессов для цели проектирования адаптивных систем управления с идентификатором [8, 9].

Второй вывод касается алгоритмов параметрической идентификации, которые можно использовать для получения по эмпирическим данным текущего значения параметров настраиваемых математических моделей металлургических процессов. Эти алгоритмы необходимо не только классифицировать по типам металлургических процессов и детально исследовать их информационные возможности, но и желательно разработать методологию оперативного выбора алгоритма параметрической идентификации для проектируемой адаптивной системы управления с идентификатором. В частности, представляется полезным использовать для этой цели программную систему оценивания рекуррентных алгоритмов идентификации [10].

В-третьих, представляется необходимым разработать комплексный метод моделирования металлургических процессов, учитывающий их характерные особенности и представляющий рациональное объединение содержания методов идентификации и методов моделирования реальных объектов на основе использования открытых законов естествознания и известных эмпирических закономерностей.

Список литературы

1. Салыга В.И., Карабутов Н.Н. Идентификация и управление процессами в черной металлургии. М.: Металлургия, 1986, 191 с.
2. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов / Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1986, 240 с.
3. Емельянов С.В., Коровин С.К., Рыков А.С. и др. Методы идентификации промышленных объектов в системах управления. Кемерово: Кузбасвузиздат, 2007, 307 с.
4. Салихов З.Г., Усачев М.В., Никулина И.В. Идентификация и управление электрическим режимом трехфазных электродуговых печей // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16-19 июня 2014 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 4366-4374.
5. Салихов З.Г., Газимов Р.Т., Генкин А.Л., Никулина И.В. Многовариантная имитационная модель как основа совершенствования интеллектуальной системы управления объектами с нестационарными и вероятностными характеристиками // Труды 6-ой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013, Казань). Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2013. Т. 1. С. 245-249
6. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии: учебное пособие / под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006, 307 с.
7. Погодаев А.К., Блюмин С.Л. Адаптация и оптимизация в системах автоматизации и управления. Липецк: Издательство ЛЭГИ, 2003, 129 с.
8. Салихов З.Г., Гинсберг К.С. Исследование эволюции в области идентификации математических моделей металлургических процессов при создании реальных систем автоматического управления // Цветные металлы. 2016. № 11. С. 105-112.
9. Гинсберг К.С., Генкин А.Л. К основам научной методологии структурной идентификации для цели создания реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами // Вестник Череповецкого государственного университета. 2018. № 3 (84). С. 24-30.
10. Антонова Г.М., Макаров В.В. Выбор алгоритмов рекуррентной параметрической идентификации для описания результатов имитационных экспериментов // Материалы 11-й Международной конферен-

ции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2018, Москва). Москва.: ИПУ РАН, 2018. Т. 1. С. 253-256.