

2007. – №17. – С. 31 – 37.

5. Бородулин А.В. Домна в энергетическом измерении [Текст] / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, Г.И. Орел. – Днепропетровск: Изд. – во Днепропетровского технического университета, 2006. – 450с.

Рекоменд

УДК 669.162-52

И.Г. Гулина, А.Ю. Гусев, канд. физ.-мат. наук, В.И. Корниенко, д-р. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет")

В.Г. Макиенко, канд. техн. наук
(Украина, Мариуполь, ООО НПП "Азов-Черметавтоматика")

ВЫБОР КРИТЕРИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМ ОБЪЕКТОМ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение

Технологические процессы (ТП) горно-металлургического производства, к которым относятся рудоподготовка, обогащение руды, выплавка чугуна и стали, занимают значительную часть в структуре потребления ресурсов, поэтому актуальным является снижение расходов на производство путем повышения качества систем автоматизированного управления (САУ) ним.

С позиций управления эти ТП являются сложными объектами управления (ОУ), содержащими нелинейные зависимости, нестационарные параметры, многосвязные переменные и высокий уровень помех. Кроме того, существенные трудности для повышения качества управления вызывает наличие у ОУ значительных инерционностей и времени запаздывания, составляющих десятки и сотни минут [1, 2].

Одним из путей повышения качества управления такими ОУ является использование оперативных показателей ТП, косвенно характеризующих их эффективность. Примером такого подхода является САУ процессом измельчения руды в барабанных мельницах по уровню ее заполнения [1].

Постановка задачи

Рассмотрим решение задачи выбора критерия управления инерционным ОУ на примере совершенствования САУ тепловым состоянием (ТС) доменной печи (ДП). Тепловое состояние печи оценивают по содержанию кремния и серы в чугуне, температуре чугуна на выпуске и др. [3].

Для оценки этих показателей применяют расчетные способы и методики, позволяющие контролировать как ТС горна путем определения скорости опускания шихтовых материалов, так и положение, и температуру зоны размягчения и плавления [4]. Однако эти методики выполняются вручную и имеют низкую оперативность.

В связи с этим актуальным является выбор оперативного параметра, который коррелирован с показателями ТС ДП, и построение критерия управления на его основе, что позволит реализовать системы адаптивного и оптимального управления доменным процессом [5].

Цель статьи – обоснование оперативного параметра, тесно связанного с показателями инерционного технологического процесса и построение на его основе критерия автоматизированного управления.

Изложение основного материала

Постоянный оперативный и достоверный контроль ТС печи важен как с точки зрения оптимизации ведения плавки, так и с точки зрения безопасной работы ДП. В этой связи получили широкое развитие косвенные методы диагностики (с контролем параметров сопутствующих процессов).

Наиболее информативным (в смысле возможности получения обобщенного параметра ТС ДП) представляется контроль циклов "накопления-выпуска" жидких продуктов плавки в горне печи, который оказывает основное влияние на нестационарность протекания ТП.

Так, при выпуске жидких продуктов плавки происходит вынос тепла с чугуном и шлаком, т.е. снижение теплосодержания ДП. При закрытии чугунной летки происходит обратный процесс – повышается теплосодержание. Таким образом, контроль циклов "накопление-выпуск" жидких продуктов плавки, которые характеризуются изменением уровня расплава (УР), – одним из наиболее объективных методов оценки ТС горна ДП [6].

Нами была использована информация, полученная от специальных термодатчиков контроля теплосодержания металлоприемника, разработанных ООО НПП "Азов-Черметавтоматика" и установленных на ДП-6 Нижне-Тагильского металлургического комбината. Датчики расположены в 4-х отверстиях по

окружности между холодильниками верхней лещади. Регистрация циклов "накопления-выпуска" осуществлялась с помощью установленного на ДП-6 аппаратно-программного комплекса.

Для оценки связи УР с показателями чугуна на выпуске были использованы результаты химического анализа и средние значения УР для 79 выпусков чугуна (для УР – интервалов между выпусками).

Для этих данных построены графики зависимости среднего значения УР между выпусками и показателей химического состава от номера выпуска, а также их корреляционные функции (рис. 1 – 3).

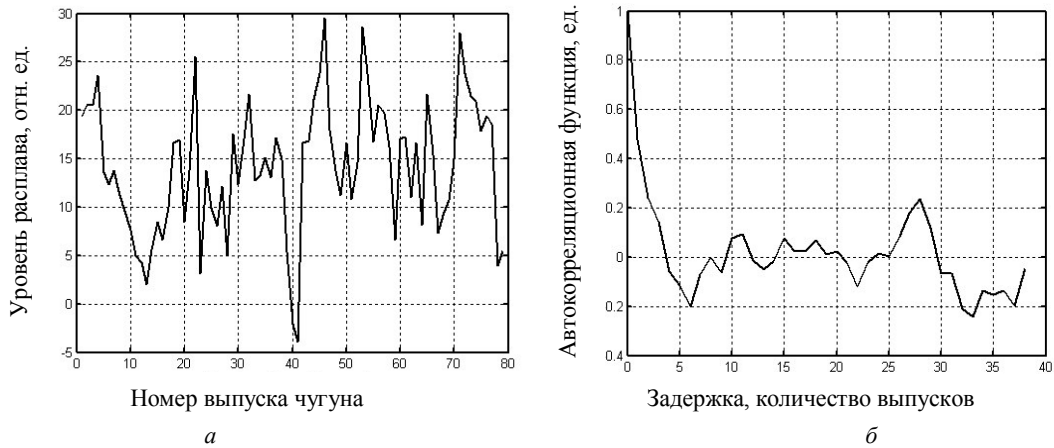


Рис. 1. Средний уровень расплава (а) и его автокорреляционная функция (б)

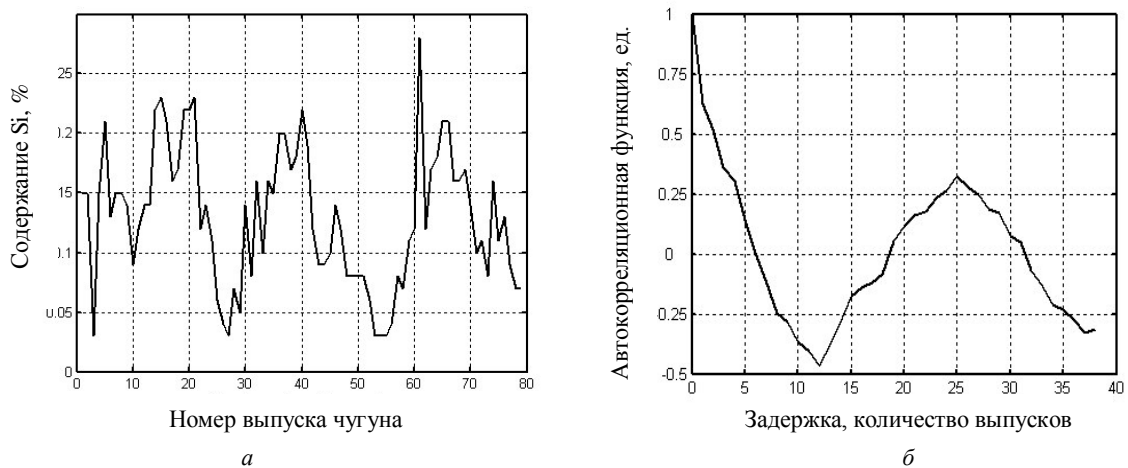


Рис. 2. Содержание кремния в чугуне (а) и его автокорреляционная функция (б)

В результате статистической обработки установлено, что коэффициенты взаимной корреляции между средним значением УР за плавку и содержанием кремния, а также серы в чугуне на выпуске составляют менее 0,5.

Применение квадратичной и кубической регрессий не позволили существенно увеличить значения коэффициентов взаимной корреляции. Поэтому для оценки наличия других нелинейных зависимостей между рассмотренными показателями была использована их аппроксимация в виде адаптивной нейросетевой системы нечеткого вывода (Anfis) с колоколообразными функциями принадлежности [7].

Исходные выборы разбивались поровну на обучающие и проверочные последовательности, а в качестве критерия оптимизации (настройки Anfis) использовалась относительная среднеквадратическая ошибка между реальными данными и их оценками в проверочной последовательности.

Установлено, что для аппроксимации (оценки) содержания кремния $\bar{U}_{Si}[\%]$ и серы $\bar{U}_S[\%]$ по среднему значению УР коэффициенты взаимной корреляции с фактическими значениями кремния $Si[\%]$ и серы $S[\%]$ составили 0,87 и 0,81 соответственно. При этом уравнения линейной регрессии с доверительным интервалом 0,05 имеют вид:

$$Si = 0,023 + 1,008 \cdot \bar{U}_{Si}; \quad (1)$$

$$S = 0,012 + 1,015 \cdot \bar{U}_S. \quad (2)$$

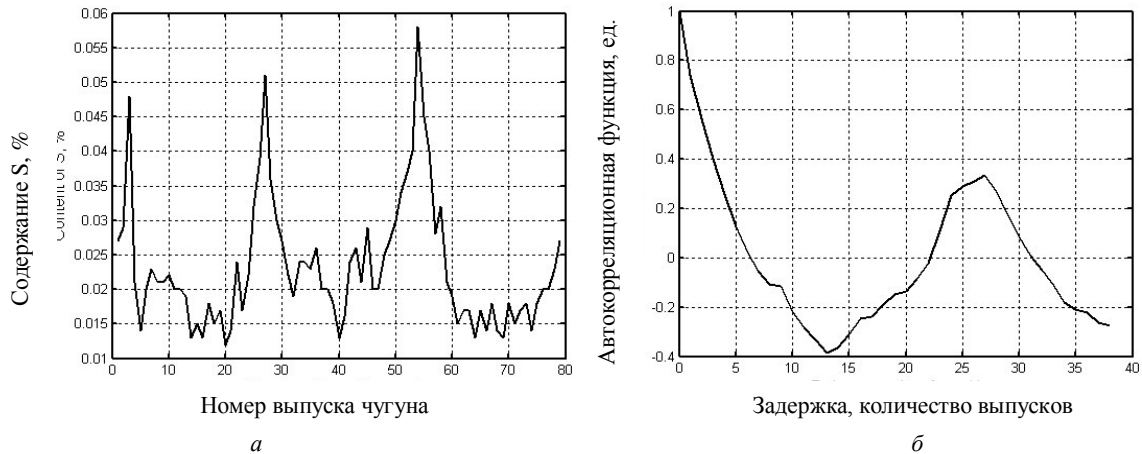


Рис. 3. Содержание серы в чугуне (а) и его автокорреляционная функция (б)

Проверка статистической гипотезы по критерию знаков показала адекватность нечетких нейросетевых аппроксимирующих моделей с вероятностью 0,95.

Таким образом, высокие коэффициенты корреляции позволяют с помощью соответствующих аппроксимаций по среднему значению УР судить о содержании кремния и серы в чугуне на выпуске. Тогда стабилизация среднего значения (тренда) УР соответствует стабилизации содержания кремния и серы в чугуне на выпуске.

При автоматизированном управлении главная цель (и ограничения) выражаются в виде критерия J (целевой функции, функционала) управления. Тогда в соответствии с вышеизложенным критерий автоматизированного управления ТС ДП может быть выбран в виде:

$$J = \|\hat{U} - U^3\| \rightarrow \min, \quad (3)$$

где \hat{U} – текущее значение тренда УР, а U^3 – его заданное значение, соответствующее требуемому ТС ДП. При этом, на критерий (3) должны быть наложены ограничения по допустимому диапазону отклонения текущего мгновенного значения УР от его задания U^3 .

Выводы

В результате статистической обработки экспериментальных данных установлено, что нелинейные нейронечеткие аппроксимации содержания кремния и серы по средним значениям уровня расплава за плавку тесно связаны с фактическим содержанием кремния и серы в чугуне на выпуске (коэффициенты взаимной корреляции составляют 0,87 и 0,81 соответственно).

Выбранный критерий автоматизированного управления инерционным ТП (тепловым состоянием доменной печи) позволяет путем стабилизации тренда уровня расплава обеспечить стабилизацию содержания кремния или серы в чугуне на выпуске.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку системы автоматизированного управления тепловым состоянием доменной печи по предложенному критерию.

Список литературы

1. Марюта А.Н. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / А.Н. Марюта, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько. – М.: Недра, 1983. – 277 с.
2. Каганов В.Ю. Автоматизация управления металлургическими процессами / В.Ю. Каганов, О.М. Блинов, А.М. Беленький. – М.: Металлургия, 1974. – 416 с.
3. Охотский В.Б. Модели металлургических систем / В.Б. Охотский – Д.: Системные технологии, 2006. – 287 с.
4. Прогнозирование теплового состояния горна доменной печи / В.И. Большаков, И.Г. Муравьева, Ю.С. Семенов и др. // Сталь. – 2009. – № 5. – С. 7–9.
5. Товаровский И.Г. Анализ показателей и процессов доменной плавки / И.Г. Товаровский, В.В. Севернюк, В.П. Лялюк. – Д.: Пороги, 2000. – 420 с.
6. Гусев А.Ю. Оценка и прогноз хода доменной печи с помощью модифицированного фильтра Калмана / А.Ю. Гусев, В.Г. Макенко, Ю.П. Рыбальченко // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2010. – № 2. – С. 82–84.
7. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Длин, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.

рекоменд

В.И. Корсун, д-р техн. наук, А.А. Яланский, канд. техн. наук, Н.А. Иконникова
(Украина, г. Днепропетровск, Государственный ВУЗ "Национальный горный университет"),

В.В. Арестов

(Украина, г. Днепропетровск, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины)

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Надежность работы горных электромеханических и геомеханических систем зависит, прежде всего, от горно-геологических и горнотехнических условий, выбора системы разработки, вида и типа крепи, отклонения фактического энергопотребления от расчетного, наличия ресурсов, отказов элементов и ошибок персонала. Действие этих факторов частично компенсируется за счет: выбора структуры (оптимизации систем разработки и вентиляции, транспортных средств, конфигурации электрической сети, мощностей, управления и т.д.); улучшения технических параметров как самого оборудования, так и его элементов; резервирования во всех звеньях системы (производства, преобразования, передачи и распределения электрической энергии, управления), включая обеспечение взаимодействия внутри системы; выбора средств контроля и автоматического управления системой; улучшения организации эксплуатации, включая совершенствование системы планово-предупредительных ремонтов [1].

Работу системы со слабыми связями (шахтной, рудной, карьера, добычного участка, обогатительной фабрики и так далее) определяют методами линейного программирования. Такие физические процессы имеют причинно-следственный характер. До сих пор предполагалось, что, моделируя постепенные отказы, персонал имеет возможность подготовиться к выводу элемента из работы. В этих случаях, как правило, возможность нарушения устойчивости системы практически исключается. При внезапных же отказах, например, обвалах породы, кровли в выработках, коротких замыканиях на линиях электропередачи возможны нарушения устойчивости, а при неблагоприятных условиях – и дальнейшее развитие аварии. При определении показателей надежности в таких условиях должны учитываться как прогнозируемые, так и внезапные отказы элементов, однако при этом уже более важен не просто сам факт отказа, а вид повреждения, его вызывающий. Причем, если изначально переходные процессы носят стохастический характер, то при наложении детерминированных динамических явлений вступают в работу синергетические процессы, связанные с самоорганизацией явлений как с положительными, так и отрицательными свойствами, которые приводят к нестандартным ситуациям и внезапным отказам элементов системы [2, 3].

В горных технических системах, прежде всего, в силу специфики геологического строения породных массивов, высокой фрактальной размерности горных пород и полезных ископаемых, являющимися одновременно объектами, вмещающими шахты, рудники и подземные сооружения, и объектами добычи и переработки, возможно как самопроизвольное появление процессов самоорганизации, так и процессов динамического хаоса. Эти процессы могут быть доминирующими или частичными, а в зависимости от положения равновесия – устойчивыми или неустойчивыми, потеря устойчивости может быть мягкой или жесткой [4, 5].

При *мягкой потере устойчивости устанавливается колебательный периодический режим*, который на начальном этапе мало чем отличается от состояния равновесия [6]. При *жесткой потере устойчивости система скачком уходит из стационарного режима равновесия и переходит на другой режим движения, как правило, установившийся колебательный периодический режим*. Режим, установившийся после потери устойчивости равновесного состояния, называется странным аттрактором (не равновесие и не предельный цикл). Такой режим означает, что в системе наблюдаются сложные непериодические колебания, для внешнего экспериментатора – *турбулентные*. Переход от устойчивого состояния равновесия к странному аттрактору может совершаться непосредственно сразу скачком при жесткой потере устойчивости, так и после возникновения мягкой потери устойчивости. Если хаотический режим не является необходимым технологическим режимом работы, то доводить динамическую систему до хаотического режима весьма опасно. Устойчивость такой системы можно выполнить с помощью моделирования [7].

В геомеханических и электродинамических системах возможно появление разнообразных колебаний, в том числе параметрических, феррорезонансных и хаотических. Параметрический механизм колебаний возникает за счет того, что рабочее оборудование, системы охлаждения и другие компоненты постоянно, даже при проектных режимах работы, подвергаются вибрации со стороны вращающихся механизмов (турбины, генераторы, двигатели, насосы, дробилки, мельницы) и перекачиваемой рабочей среды. Особо следует подчеркнуть, что все эти механизмы имеют высокую добротность. Феррорезонансные колебания накладываются на параметрические и срывают их, а затем на их фоне возникают субгармонические (комбинационные) и, наконец, хаотические [8, 9].