

*А.В. Герасина, канд. техн. наук, В.И. Корниенко, д-р. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РУДОПОДГОТОВКИ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ПО МЕТОДУ ВАРИАЦИИ СТРУКТУР

Введение

Особенностью нелинейных процессов рудоподготовки (крупнокускового дробления (ККД) и мокро-го самоизмельчения (МСИ)) является наличие в них различных динамических режимов работы. Это обуславливает необходимость решения задачи идентификации управляемых процессов не только на стадии проектирования, но и в процессе функционирования их АСУТП.

Постановка задачи

Одной из основных проблем при решении задачи идентификации объекта управления (ОУ) является выбор типа структуры модели. Наиболее продуктивным является определение структуры модели ОУ на основе наблюдений его входных и выходных переменных с использованием аппроксимаций в виде блочно-ориентированных моделей.

В результате исследования метода [1], позволяющего определить режим функционирования ОУ, его размерность, а затем с помощью процедуры идентификации рассчитать структурные характеристики и параметры модели ОУ, установлено, что в методе не обоснован выбор типа структуры моделей ОУ при изменении их режимов работы. Также в данном методе выполнение процедуры структурно-параметрическую идентификации предполагается проводить в режиме реального времени, что не является целесообразным, поскольку для управляемых процессов она проводится несколько часов.

В работе [2] предложено обосновать выбор типа структур моделей ОУ путем исследования вариации их типов, что позволяет, в отличие от метода [1], повысить точность идентификации для разных режимов функционирования со снижением ошибок интеллектуальных прогнозирующих моделей. Также предложено включить в метод вариации структур [2] определение параметра Херста как критерий перехода к процедуре структурно-параметрической идентификации ОУ. При этом параметрическую идентификацию предложено проводить в режиме реального времени, а структурно-параметрическую – планировать, то есть выполнять ее в периоды небольшой нагрузки на вычислительные устройства и распределять между ними, и таким образом, снизить требования к их производительности и вычислительные затраты. Вместе с тем, в работе [2] отсутствует оценка эффективности идентификации ОУ согласно предложенного метода.

Цель статьи

Оценить эффективность управления процессами рудоподготовки по разработанной интеллектуальной прогнозирующей модели крупнокускового дробления руд с использованием структурно-параметрической идентификации по методу вариации структур.

Адаптивная система управления процессом крупнокускового дробления руд

В работах [3, 4] предложены системы управления процессом ККД (рис. 1), которые используют прогнозирующую модель в контуре управления. В таких системах входная руда после дробления в конусной дробилке (КД) через промежуточный бункер (ПБ) с помощью пластинчатых питателей поступает на конвейер 1 и далее в накопительный бункер (НБ).

Из НБ руда затем подается в мельницу самоизмельчения (МС), готовый продукт которой в сливе спирального классификатора (СК) подается на обогащение. В качестве МС на первой обогатительной фабрике Лебединского горно-обогатительного комбината (ГОКа) используются мельницы типа ММС 70х23. При этом порция руды, загружаемая в отдельный накопительный бункер, превышает количество руды, продавливаемой за такт управления. Время измельчения руды, продробленной за один такт управления (2 думпкара) с учетом проектной загрузки думпкаров $P_{\delta}^n = 105$ т и проектной производительности мельницы по исходной руде $Q_{исх}^n = 188$ т/час, равно $T_{изм} = 2 \cdot P_{\delta}^n / Q_{исх}^n = 210 / 118 = 1,8$ час. А поскольку постоянные времени мельницы ММС 70х23 не превышают десятков минут, то такту управления процессом крупнокускового дробления соответствует период работы мельницы, за который ее можно считать статическим объектом [5]. Это позволяет воспользоваться статической зависимостью производительности мельницы по исходной руде от содержания в ней класса +100 мм $Q_{исх}(\Gamma_{+100})$ [6], экспериментально полученной в условиях Лебединского ГОКа для работающей в замкнутом цикле мельницы ММС 70х23, которая представлена на рис. 2, и аппроксимируется уравнением параболы:

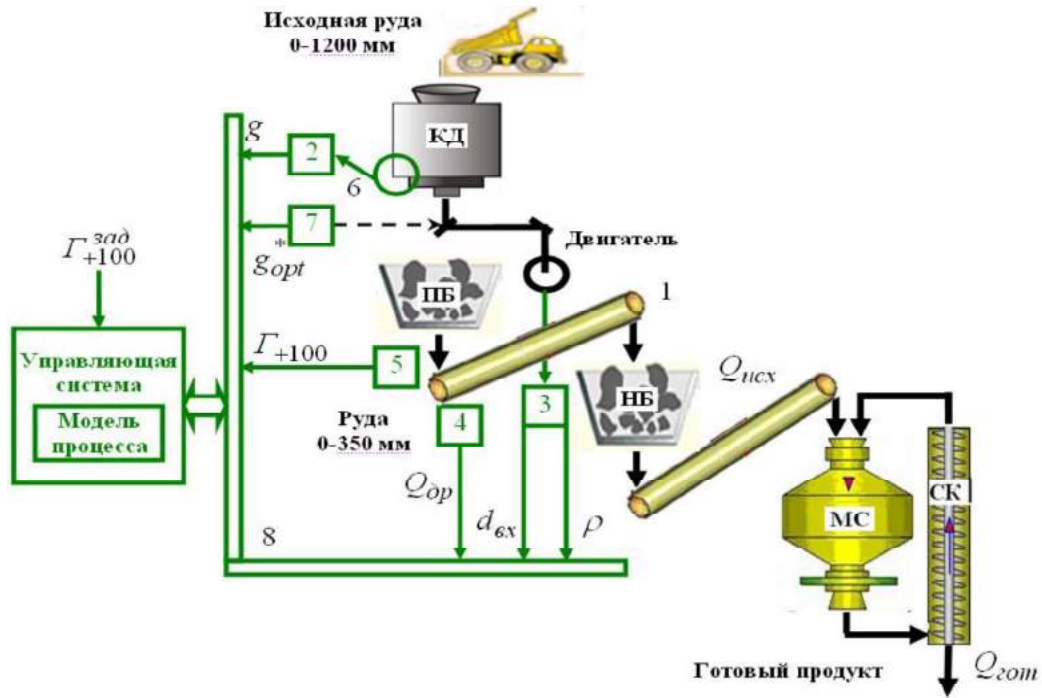


Рис. 1. Схема системы адаптивного управления процессом ККД

$$Q_{исх} = -7,96 \cdot 10^{-2} \cdot \Gamma_{+100}^2 + 9,07 \cdot \Gamma_{+100} - 130,6. \quad (1)$$

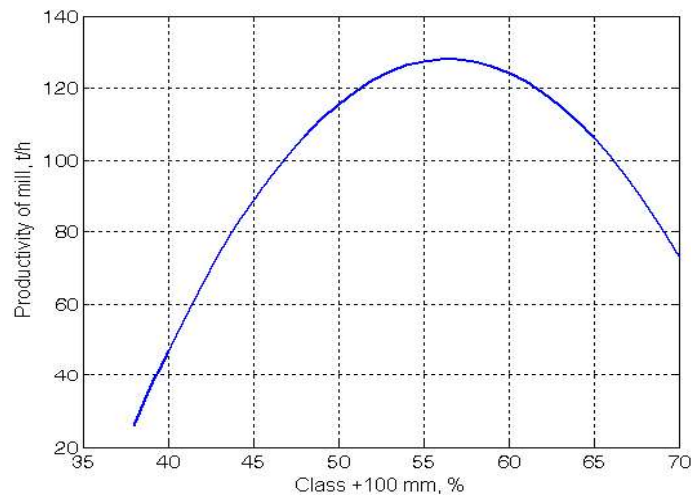


Рис. 2. Зависимость производительности мельницы ММС 70x23 по входной руде от содержания в ней класса +100 мм

Тогда средняя производительность по исходной руде за время наблюдения определяется как:

$$\bar{Q}_{исх} = 1/m \sum_{i=1}^m Q_{исх,i}; \quad (2)$$

$$Q_{исх,i} = -7,96 \cdot 10^{-2} \cdot (\Gamma_i)^2 + 9,07 \cdot \Gamma_i - 130,6, \quad (3)$$

где m — количество тактов за время наблюдения; Γ_i — усредненное за такт управления значение содержания класса +100 мм в дробленой руде.

Управляющая система выполняет оценку текущего состояния процесса ККД до момента начала очередного интервала управления. Для этого осуществляется опрос и усреднение за предыдущий интер-

вал показания устройства 2 контроля ширины щели (g), устройства 3 контроля крупности и крепости входной руды (d_{ex} , ρ), конвейерных весов 4 (Q_{op}), а также гранулометра 5 (Γ_{+100}).

Целью управления является стабилизация содержания класса +100 мм в дробленой руде:

$$\bar{\varepsilon} = \left\| \Gamma_{+100} - \Gamma_{+100}^{зад} \right\| \rightarrow \min. \quad (4)$$

Далее выполняется идентификация прогнозирующей модели процесса ККД согласно методу [2]. Сначала выполняется структурно-параметрическая идентификация модели процесса ККД (ее обучение). Затем, в текущем режиме выполняется адаптация параметров модели процесса ККД. Если погрешность модели меньше некоторого допустимого значения и параметр Херста для процесса $< 0,5$, то переходят к прогнозированию процесса ККД на заданный интервал управления. А если нет, то выполняется структурно-параметрическая идентификация модели процесса ККД.

По оценкам и прогнозу процесса ККД определяется значение изменения ширины разгрузочной щели дробилки 6 g_{opt}^* на следующий интервал, которое обрабатывается гидравлической системой 7 регулирования щели. Устройства 2-7 связаны с управляющей системой с помощью информационной шины 8.

Глубина прогноза модели выбирается из условия ее превышения суммы времени транспортирования руды (времени запаздывания) через конусную дробилку ККД-1500, бункер ПБ и конвейер 1 к месту контроля гранулометра 5, а также времени поиска управления g_{opt}^* и времени его отработки исполнительным механизмом 7.

Моделирование

Оценка эффективности системы управления технологическим процессом ККД с разработанной интеллектуальной прогнозирующей моделью процесса выполнялась путем ее имитационного моделирования в среде Matlab с помощью разработанной программы.

В качестве характеристики гранулометрического состава входной руды использовалась средне-взвешенная крупность d_{ex} , а в качестве характеристики выходной руды $\Gamma_{вых}$ – содержание класса +100 мм Γ_{+100} . Качество входной руды (ее крупность d_{ex} и крепость ρ) моделировалось генераторами возмущений с корреляционными функциями и статистическими характеристиками, определенными по экспериментальным последовательностям [7], а процесс ККД моделировался нелинейным конечно-разностным уравнением [8]. Ошибки измерения качества входной руды принимались на уровне 10% (гауссовская модель шума с уровнем 0,1 от уровня сигналов). Нестационарность ОУ принималась на уровне 20% от номинальных значений его параметров за время наблюдения в 256 тактов (продолжительность цикла управления равнялась одному такту).

В системе управления для прогнозирования ОУ использовалась модель (ModelKКD) в виде каскадной нейронной сети (НС) прямого распространения с 28 нейронами в скрытом слое, логистической сигмоидальной функцией активации скрытого слоя, линейной – выходного, алгоритмом обучения НС – методом Флетчера-Ривса [9].

Из особенностей процесса ККД глубина прогноза принималась $n = 3$ такта, а глубина памяти по разным входам от 1 до 4 тактов. Диапазоны значений входных (d_{ex} [130...330 мм], ρ [4...19 ед.]) и выходных (Γ_{+100} [30...70%]) переменных были занормированы в сигналы с уровнем 0...1. Значения ширины разгрузочной щели дробилки g ограничивались значениями $g_{min} = 160$ мм и $g_{max} = 240$ мм.

В качестве задания (Γ_{+100}) использовались значения $\Gamma_{+100}^{зад} = 57\%$, что соответствует оптимальному значению для Лебединского ГОКа [6]. Точность идентификации и управления оценивались с помощью среднеквадратических ошибок $\bar{\varepsilon}$ и $\bar{\varepsilon}$ соответственно.

Результаты моделирования работы системы управления процессом ККД в управляемом (Control) и неуправляемом (notControl) режимах приведены на рис. 3.

Значения ошибок составили $\bar{\varepsilon}_{Control} = 0,036$ и $\bar{\varepsilon}_{notControl} = 0,108$, что определяет снижение среднеквадратичной ошибки в управляемом режиме в 3 раза. При этом ошибка прогнозирующей модели составила $\bar{\varepsilon}_{ModelKКD} = 0,021$. В общем, ошибки управления определяются ошибками прогнозирования. Предобучение прогнозирующей НС модели улучшает сходимость алгоритмов адаптации и, соответственно, обеспечивает снижение ошибки управления.

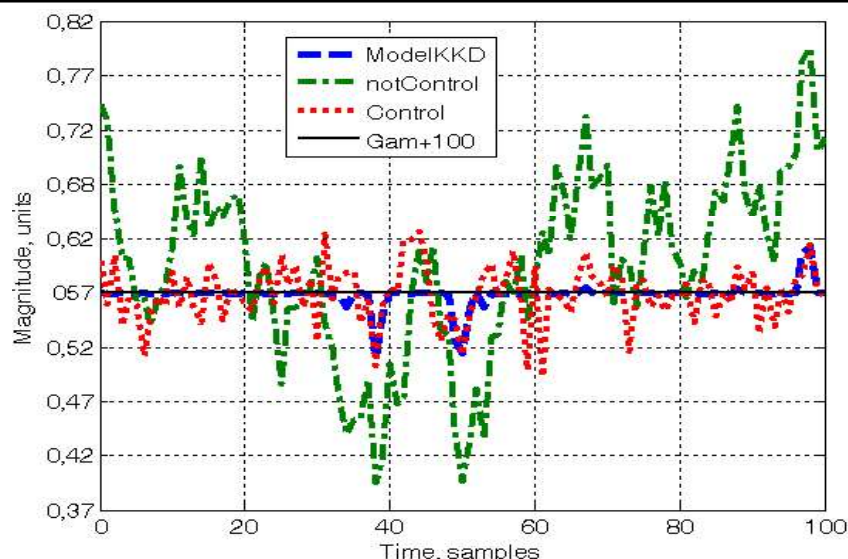


Рис. 3. Результати управління процесом ККД з розробленою моделлю

Полученное повышение качества управления процессом ККД позволяет, согласно зависимости (см. рис. 2), повысить производительность по входной руде мельниц самоизмельчения типа ММС 70х23 на 6,45 т/ч. или на 5,3 % (что существенно лучше, чем в системах оптимизации, которые имеют в контуре управления модели, полученные с помощью метода [1], где снижение ошибки управления составляет в 2,5 раза, а повышение производительности – на 5,5 т/ч.).

Выводы

Выполнена оценка эффективности управления процессами рудоподготовки по разработанной интеллектуальной прогнозирующей модели ККД согласно методу вариации структур [2]. Установлено, что система управления с предложенной прогнозирующей моделью в контуре управления обеспечивает по сравнению с системами, которые имеют в контуре управления модели, полученные в работе [1], снижение в 1,2 раза ошибки управления и повышения на 0,8 % или 0,95 т/ч производительности процесса самоизмельчения за счет стабилизации содержания класса +100 мм в его входной руде.

Список литературы

1. Кузнецов Г.В. Композиційна структурно-параметрична ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів керування / Г.В. Кузнецов, В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 5. – С.69-75. – ISSN 1810-0546.
2. Герасина А.В. Комплексный метод идентификации нелинейных процессов крупного дробления и самоизмельчения руд / А.В. Герасина // Збірник наукових праць НГУ. – 2011. – №. 36, т. 1 – С. 150-157.
3. Качан Ю.Г. Вычислительные исследования алгоритма оптимизации процесса крупнокускового дробления / Ю.Г. Качан, В.И. Корниенко // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1988. – Вып. 53. – С. 48-53.
4. Корнієнко В.І. Адаптивне керування процесами рудопідготовки за мінімумом узагальненої роботи з інтелектуальним прогнозуванням / Корнієнко В.І. // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 83. – С. 79-88.
5. Мариюта А.Н. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / А.Н. Мариюта, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько. – М.: Недра, 1983. – 277 с.
6. Семунькин М.Б. Влияние кусковатости руды на производительность мельниц самоизмельчения / М.Б. Семунькин // Комплексное развитие КМА. – Губкин: НИИКМА им. Л.Д.Шевякова, 1978. – Вып. 2. – С. 84-90.
7. Качан Ю.Г. Моделирование возмущающих параметров процесса крупнокускового дробления для задач технологических исследований и АСУТП / Ю.Г. Качан, Н.М. Трипутень // Горная электромеханика и автоматика. – Киев. – 1986. – Вып. 49. – С. 29-36.
8. Качан Ю.Г. Результаты идентификации процесса дробления по принципу самоорганизации / Ю.Г. Качан, В.И. Корниенко // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1988. – Вып. 53. – С. 32-38.
9. Герасіна О.В. Алгоритми глобальної і локальної оптимізації в задачі ідентифікації складних динамічних систем / О.В. Герасіна, В.І. Корнієнко // Системи обробки інформації. – 2010. – № 6(87). – С. 73-77. – ISSN 1681-7710.

Рекомендовано до друку проф. Слсаревим В.В.