

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/131TVN614.pdf>
DOI: 10.15862/131TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/131TVN614>)

УДК 007

Чохонелидзе Александр Николаевич

Тверской государственный технический университет
Россия, Тверь¹
Профессор
Доктор технических наук
E-mail: a444595@pochta.ru

Форгор Лемпого

Тверской государственный технический университет
Россия, Тверь
Аспирант
Ганский университет технологии
Гана, Аккра
Преподаватель
E-mail: forlempo@yahoo.co.nz

Виллиам Браун-Аквей

Тверской государственный технический университет
Россия, Тверь
Аспирант
Ганский университет технологии
Гана, Аккра
Преподаватель
E-mail: wbrownacquaye@hotmail.com

**Разработка системы автоматизированного управления для
замкнутой цепью измельчения с использованием метода
управления с прогнозирующими моделями**

¹ 170024, Тверь, Проспект Ленина, 25

Аннотация. В данной статье разработан регуляризованное прогнозирующее управление на основе ℓ_2 -нормы импульсной характеристики конечной длительности (КИХ) с ограничениями на вход и скорость входа для модели замкнутой схемы измельчения в шаровой мельнице, имеющей сепаратор с высоким КПД, на заводе по производству цемента. Основой оценочного модуля стал простой фильтр нарушений постоянной мощности. Проблему регулятора на основе КИХ решили задачей выпуклого квадратичного программирования (КП) путем преобразования целевой функции в стандартную форму. КП решили с помощью алгоритма на основе метода внутренней точки. Для оценки неизвестного нарушения использовали оценочный модуль путем решения задачи оптимизации. Назначение автоматизированной системы управления состоит в моделировании схемы измельчения цемента путем моделирования отношений между несколькими входными и выходными переменными и обеспечении эффективного механизма управления. В данной работе применяется управление с прогнозирующими моделями который является улучшением классического управления с отрицательной обратной связью, в котором учитывается предсказание поведения объекта управления на различные типы входных воздействий. Обратная связь в таких системах управления используется для корректировки неточностей, связанных с внешними помехами и неточностью математической модели объекта управления. Регулятор полагается на эмпирическую модель процесса для того, чтобы предсказать дальнейшее его поведение, основываясь на предыдущих значениях переменных состояния.

Ключевые слова: управление с прогнозирующими моделями; контур помола цемента; алгоритм; моделирование; регулятор.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чохонелидзе А.Н., Форгор Лемпого, Виллиам Браун-Аквей Разработка системы автоматизированного управления для замкнутой цепью измельчения с использованием метода управления с прогнозирующими моделями// Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/131TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/131TVN614

Управление контуром помола – сложная задача вследствие многих факторов, например, нелинейного и неопределенного характера процесса. Существующие математические модели этого процесса полны неточностей и имеют много взаимодействующих переменных процесса с существенно различной динамикой, которые также подвержены влиянию неизмеренных возмущений и больших периодов временных запаздываний, сложных условий эксплуатации и невозможности использования точных и надежных датчиков [1,2,9,11].

Однако, эффективное управление процессом имеет большое значение для увеличения пропускной способности контура и качества конечного продукта, а также для значительного сокращения производственных затрат, особенно в отношении энергосбережения, составляющего высокий процент таких затрат[6,7]. Процесс измельчения является одним из наиболее энерго- и материалоемких технологических циклов, поэтому актуальным является снижение затрат путем создания автоматизированной системы управления АСУ этими процессами[4,5,9].

В качестве метода упарвления применяется управление с прогнозирующими моделями который является улучшением классического управления с отрицательной обратной связью, в котором учитывается предсказание поведения объекта управления на различные типы входных воздействий. Обратная связь в таких системах управления используется для корректировки неточностей, связанных с внешними помехами и неточностью математической модели объекта управления. Регулятор полагается на эмпирическую модель процесса для того, чтобы предсказать дальнейшее его поведение, основываясь на предыдущих значениях переменных состояния. Модель объекта управления обычно выбирается линейной[3,12,13].

Разработка регуляризованное прогнозирующее управление

В работе разработан регуляризованное прогнозирующее управление на основе ℓ_2 -нормы импульсной характеристики конечной длительности (КИХ) с ограничениями на вход и скорость входа. Основой оценочного модуля стал простой фильтр нарушений постоянной мощности. Проблему регулятора на основе КИХ решили задачей выпуклого квадратичного программирования (КП) путем преобразования целевой функции в стандартную форму. КП решили с помощью алгоритма на основе метода внутренней точки. Использовали модель с однополюсным двухпозиционным переключателем со многими входами и многими выходами (ММО) и нулевой передаточной функцией. Для оценки неизвестного нарушения использовали оценочный модуль путем решения задачи оптимизации. Системы модели прогнозирующего управления (УПМ) состояли из оценочного модуля и регулятора, как показано на рис. 1. Входными параметрами УПМ стали заданные значения, r , выходы процесса, z , и измеренные выходы процесса, y . Выходные параметры УПМ представляли собой регулируемые переменные, u .

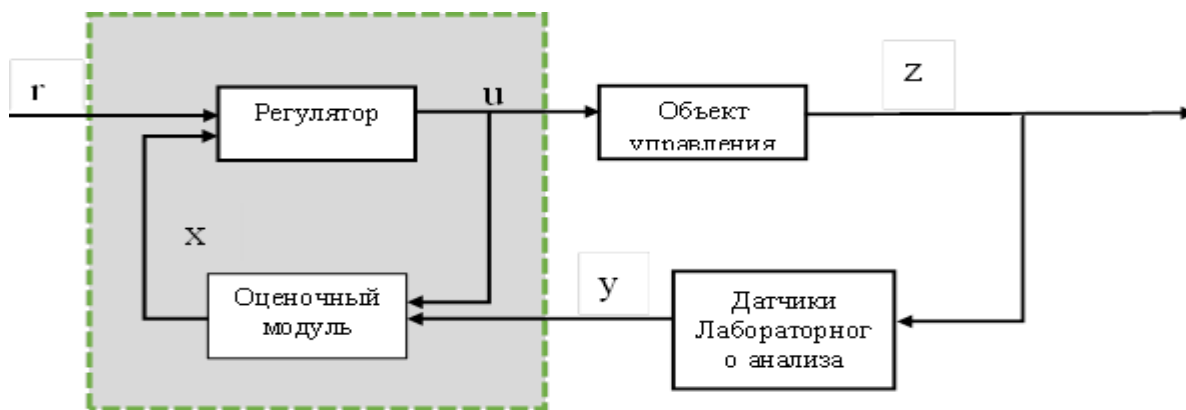


Рис 1. Структура системы управления

Технологическая установка и измерительные устройства

Предположим, что установка – это линейная система пространства состояний:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_d d_k + Gw_k x_{k+1} \quad (1)$$

$$z_k = Cx_k \quad (2)$$

Где, x – состояния процесса, u – регулируемая переменная, d – неизмеряемые возмущения, w – шум стохастического процесса, z – управляемые переменные.

Измеренные выходы, y , являются регулируемыми выходами, z , с помехами при измерении, v . Следовательно

$$y_k = z_k + v_k \quad (3)$$

Первоначальное состояние, шум процесса и помехи при измерении предположительно являются нормально распределенными стохастическими векторами

$$x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_0) \quad (4)$$

$$w_k \sim N_{iid}(0, Q) \quad (5)$$

$$v_k \sim N_{iid}(0, R) \quad (6)$$

Измеренный выход, y , –это сигнал обратной связи, используемый оценочным модулем. u – сигнал системы управления, выполняемый на установке.

Регулятор

Устойчивые процессы представлены режимом КИХ

$$z_k = b_k + \sum_{i=1}^n H_i u_{k-i} \quad (7)$$

где $\{H_i\}_{i=1}^n$ – коэффициенты импульсной характеристики (параметры Маркова), составляющие смещения оценочного модуля. b_k -объясняет расхождения между прогнозируемым и фактическим выходами. Следовательно, с помощью модели КИХ ℓ_2 регуляризованную задачу отслеживания выхода с входными ограничениями можно сформулировать следующим образом:

$$\min_{\{z,u\}} \phi = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 + \|\Delta u_k\|_s^2 \quad (8)$$

При котором

$$z_k = b_k + \sum_{i=1}^n H_i u_{k-i} \quad k = 1, \dots, N \quad (9)$$

$$u_{\min} \leq u_k \leq u_{\max} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (10)$$

$$\Delta u_{\min} \leq \Delta u_k \leq \Delta u_{\max} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (11)$$

$$z_k \leq z_{\max} + \eta_k \quad k = 1, \dots, N \quad (12)$$

$$z_k \geq z_{\min} - \eta_k \quad k = 1, \dots, N \quad (13)$$

при этом $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$ и Q_z , S и R – это веса регуляризации, а $\|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2$ является общим представлением норм метода наименьших квадратов по весу.

Это понимается как

$$\|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 = \|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z} \|z_{k+1} - r_{k+1}\|^T \quad (14)$$

В такой формулировке горизонты контроля и прогнозирования идентичны. При желании можно включить горизонт прогнозирования длиннее горизонта управления. Однако предпочел сделать горизонт управления такой длины, чтобы никакие граничные эффекты в конце горизонта не имели никакого влияния на решение в начале горизонта и могли бы быть преобразованы в ограниченную линейно-квадратичную задачу оптимального управления. В этой работе плотная квадратичная программа (КП) сформулирована в стандартном виде эквивалентном уравнению 8. Различные методы оптимизации доступны для решения таких квадратичных программ и здесь используется алгоритм оптимизации на основе метода внутренней точки.

Формулирование квадратичной программы для регулятора КИХ

Определим векторы Z , R , U , как

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_N \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_N \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_{N-1} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Тогда прогнозы по модели импульсной характеристики можно выразить как

$$Z = c + \Gamma U \quad (16)$$

Для случая $N = 6$ и $n = 3$, Γ собирается как

$$\Gamma = \begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_2 & H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_3 & H_2 & H_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_3 & H_2 & H_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_3 & H_2 & H_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_3 & H_2 & H_1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

и c собирается как

$$c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 + (H_2 u_{-1} + H_3 u_{-2}) \\ b_2 + (H_3 u_{-2}) \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Аналогично для случая $N = 6$, определим матрицы Λ и I_0

$$\Lambda = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -I & I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -I & I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -I & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -I & I \end{bmatrix} I_0 = \begin{bmatrix} I \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

и

$$Q_z = \begin{bmatrix} Q_z & & & & & \\ & Q_z & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & Q_z & & \\ & & & & & \\ & & & & & Q_z \end{bmatrix} S = \begin{bmatrix} S & & & & & \\ & S & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & S & & \\ & & & & & \\ & & & & & S \end{bmatrix} \quad (20)$$

Целевую функцию в уравнении можно выразить как

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 + \|\Delta u_k\|_S^2 \\ &= \frac{1}{2} \|Z - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|\Lambda U - I_0 u_{-1}\|_S^2 \\ &= \frac{1}{2} \|c + \Gamma U - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|\Lambda U - I_0 u_{-1}\|_S^2 \\ &= \frac{1}{2} U'(\Gamma' Q_z \Gamma + \Lambda' S \Lambda) U \\ &\quad + (\Gamma' Q_z (c - R) - \Lambda' S I_0 u_{-1})' U \\ &\quad + \left(\frac{1}{2} \|c - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|I_0 u_{-1}\|_S^2 \right) \\ &= \frac{1}{2} U' H U + g' U + \rho \end{aligned} \quad (21)$$

в которой

$$H = \Gamma' Q_z \Gamma + \Lambda' S \Lambda \quad (22)$$

$$g = \Gamma' Q_z (c - R) - \Lambda' S I_0 u_{-1} \quad (23)$$

$$\rho = \frac{1}{2} \|c - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|I_0 u_{-1}\|_S^2 \quad (24)$$

Следовательно, задачу регулятора УПМ на основе КИХ в уравнении 3.6 можно решить путем нахождения решения следующей задачи выпуклого квадратичного программирования

$$\min_U \psi = \frac{1}{2} U' H U + g' U \quad (25)$$

Так что

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max} \quad (26)$$

$$b_l \leq \Lambda U \leq b_u \quad (27)$$

Где,

$$U_{\min} = \begin{bmatrix} u_{\min} \\ u_{\min} \\ \vdots \\ u_{\min} \end{bmatrix} \quad U_{\max} = \begin{bmatrix} u_{\max} \\ u_{\max} \\ \vdots \\ u_{\max} \end{bmatrix} \quad (28)$$

и

$$b_l = \begin{bmatrix} \Delta u_{\min} + u_{-1} \\ \Delta u_{\min} \\ \vdots \\ \Delta u_{\min} \end{bmatrix} \quad b_u = \begin{bmatrix} \Delta u_{\max} + u_{-1} \\ \Delta u_{\max} \\ \vdots \\ \Delta u_{\max} \end{bmatrix} \quad (29)$$

В модели прогнозирующего контроллера только первый вектор, u_0^* , из

$$U^* = \left[(u_0^*)' (u_1^*)' \dots (u_{N-1}^*)' \right]', \quad (30)$$

реализован в процессе. Во время следующей выборки в связи с новым измерением повторяется оптимизация без обратной связи с новой информацией.

Простой оценочный модуль

Чтобы получить терминальное управление без смещения, когда возникают неизвестные реакции на возмущения (переходные характеристики), в контуре с обратной связью должны быть интеграторы. Этого можно добиться с помощью модели КИХ с разностными переменными. Предположим, что отношение между входами и выходами можно представить в виде

$$\Delta y_k = \Delta z_k = e_k + \sum_{i=1}^n H_i \Delta u_{k-1} \quad (31)$$

в котором Δ является обратным разностным оператором, т. е. $\Delta y_k = y_k - y_{k-1}$, $\Delta z_k = z_k - z_{k-1}$ и $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$. Это представление идентично модели КИХ

$$y_k = z_k = \hat{b}_k + \sum_{i=1}^n H_i u_{k-1} \quad (32)$$

если \hat{b}_k вычисляется путем

$$e_k = \Delta y_k - \sum_{i=1}^n H_i \Delta u_{k-i} \quad (33)$$

$$\hat{b}_k = \hat{b}_{k-1} + e_k \quad (34)$$

Обратите внимание, что в задаче оптимизации регулятора $b_1 = b_2 = \dots = b_N = \hat{b}_k$ каждый момент времени. Основанием этого является предположение, что в процесс возникают помехи как постоянные возмущения на выходе. Конечно, на практике так не могут возникать помехи, и может произойти существенное ухудшение рабочих характеристик как следствие этого представления.

Разработка автоматизированной системы управления

Назначение автоматизированной системы управления состоит в моделировании схемы измельчения цемента путем моделирования отношений между несколькими входными и выходными переменными и обеспечении эффективного механизма управления с применением УПМ с мягкими ограничениями для схемы измельчения цемента, который предполагает разработку нового регулятора. Можно рассмотреть несколько входных и выходных переменных, но для этой работы мы рассмотрим скорость загрузки сырья и скорость вращения сепаратора в качестве входных переменных, а также тонкость помола по Блейну и загрузку цепного транспортера в качестве выходных, так как эти два коэффициента оказывают наибольшее влияние на процесс. Система представляет собой систему со многими входами и многими выходами (MIMO).

В основе УПМ итеративная оптимизация с конечным интервалом модели завода. В момент времени t измеряется текущее состояние модели технологического процесса и вычисляется стратегия управления для минимизации затрат с помощью численного алгоритма минимизации для относительно короткого периода времени в будущем, который называется период управления n . В частности, используется онлайн-расчет для оценки расчетной траектории за период прогнозирования N и определить стратегию управления для минимизации затрат на весь период управления.

Реализуется только первый шаг стратегии управления, затем состояние установки снова замеряется, расчеты повторяются с текущего состояния, что дает новую траекторию управления и новую траекторию прогнозирующего состояния. Период прогнозирования постоянно увеличивается и по этой причине такое управление называют управлением с удаляющимся или подвижным горизонтом. Прогнозирование, используемое регулятором на выводе, применяет модель КИХ. Для оценки неизвестного возмущения при решении задачи оптимизации используется оценочная функция. Используя SOPDT в модели с нулевой передаточной функцией, обеспечивается работа оценочной функции с измерением шума.

На первом этапе вышеуказанной схемы мы разрабатываем модель технологического процесса измельчения. Следующий шаг включает в себя расчет передаточной функции, а также ограничений на вход и скорость входа. Далее, мы начинаем настройку параметров и расчет ограничений УПМ. На следующем технологическом этапе требуется установить начальный режим работы установки и определить горизонты прогнозирования и управления.

В замкнутой системе производятся вычисления контроллера модели прогнозирования и извлекаются регулируемые переменные. Далее идет определение расхождений между прогнозируемыми и фактическими значениями на выходе. Регулируемые значения подставляются в линейную систему пространственного состояния. Затем производится возврат к началу цикла, чтобы произвести вычисления УПМ, снова повторить технологический процесс, пока не завершится весь процесс моделирования.

В конце процесса моделирования, данные измеренных выходов и регулируемых переменных представляются.

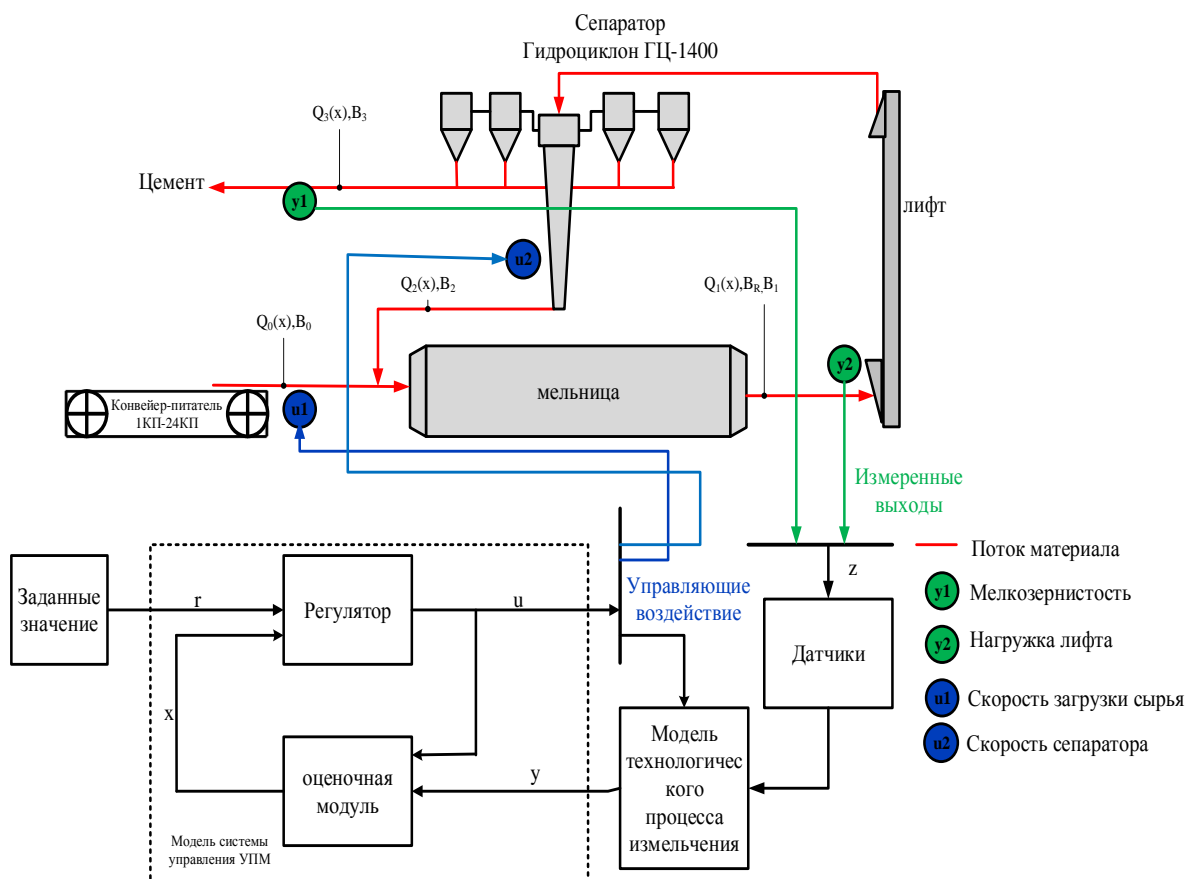


Рис 2. Функциональная схема автоматизированная система управления технологическим процессом измельчения

Таблица 2

Входные и выходные переменные

Входные переменные (регулируемые переменные)	Выходные переменные (Управляемые переменные)
Скорость загрузки сырья(u1)	Мелкозернистость материала (по Блейну)(y1)
Скорость сепаратора(u2)	Загрузка цепного конвейера(y2)

Функциональная схема автоматизированная система управления технологическим процессом измельчения показан на рисунке 2. Измерение мелкозернистости провели онлайн-анализаторами (данные непрерывной выборки). Основной стратегией управления цементным заводом стало управление мелкозернистостью продукта (по Блейну) и загрузку установки (мощность конвейера) с помощью управления загрузкой сырья и скоростью сепаратора. Модель передаточной функции для управляемых и регулируемых переменных цементного завода по результатам испытания при ступенчатом изменении нагрузок в симуляторе задали

как
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.62}{(45s+1)(8s+1)} e^{-5s} & \frac{0.28(8s+1)}{(2s+1)(38s+1)} e^{-1.5s} \\ \frac{(-15)}{(60s+1)} e^{-5s} & \frac{5}{(14s+1)(s+1)} e^{-0.1s} \end{bmatrix} \quad (35)$$

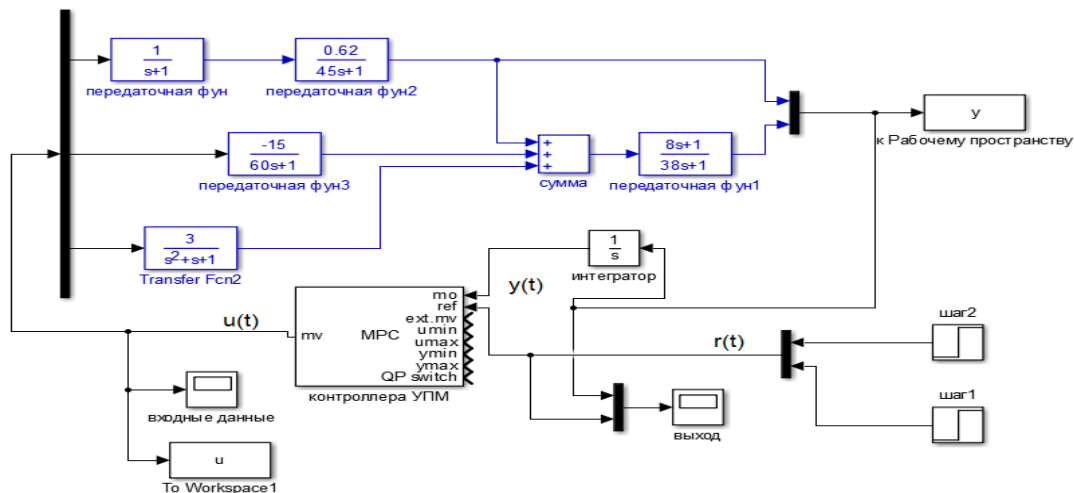


Рис 3. Схема реализации процесса в MATLAB

Твердость (измельчаемость) клинкера, поступающего в мельницу, рассматривали как модель возмущения, и для передаточной функции получили приближенную модель между твердостью и выходом, $Y(s)$. Получили немного лучшую производительность традиционной УПМ по сравнению с УПМ с мягкими ограничениями для номинальных случаев. Выявили, что причиной этого стало то, что УПМ с мягкими ограничениями не реагирует агрессивно в случаях, когда выходные сигналы находятся в пределах мягких ограничений.

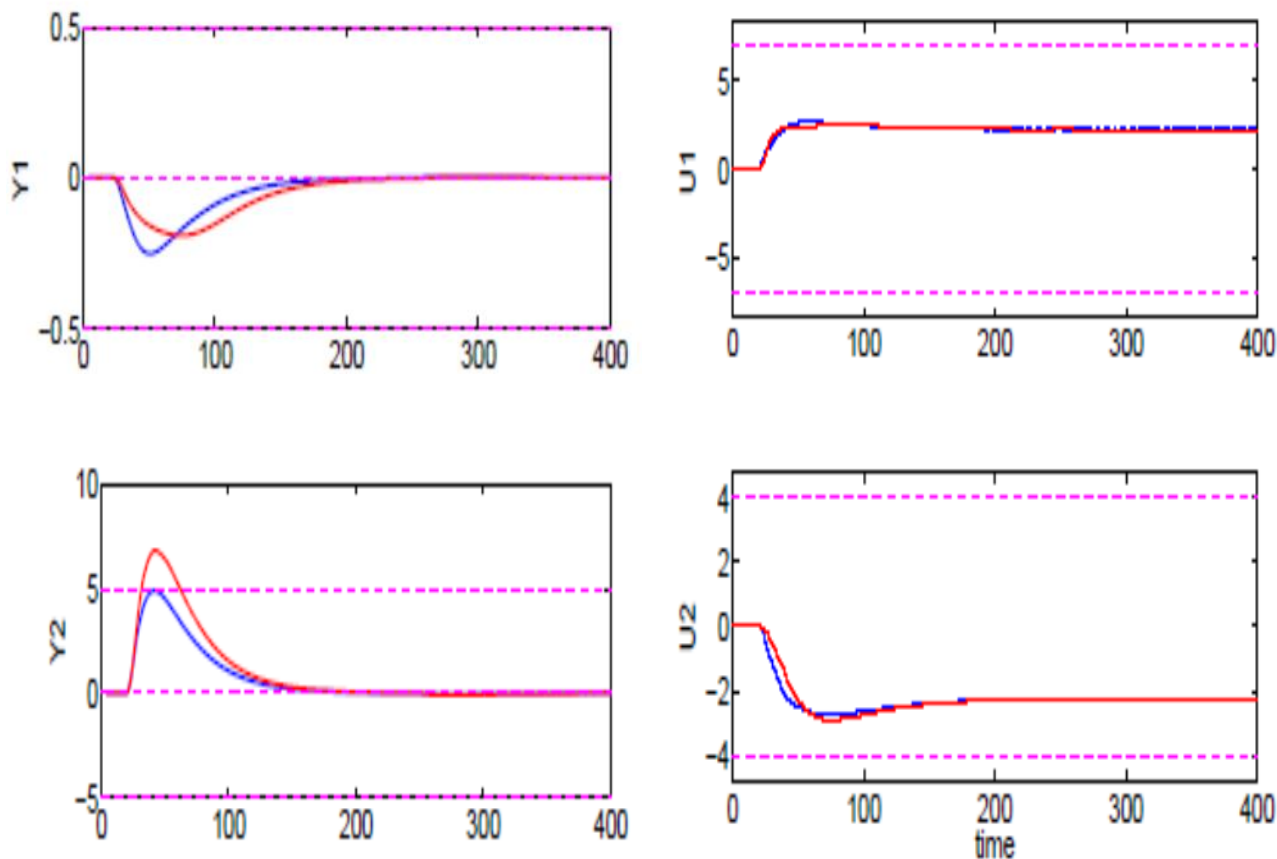


Рис 4. Сравнение номинальной УПМ и УПМ с мягкими ограничениями

Моделирование системы управления технологическим процессом в MATLAB как в рисунке 4. подтвердило, что УПМ с мягкими ограничениями обеспечивает более надежную работу в условиях несоответствия параметров «технологическая установка – модель» по сравнению с традиционными УПМ. Номинальный случай подтвердил, что производительность традиционной УПМ немного лучше производительности УПМ с мягкими ограничениями. Причиной оказалось то, что при УПМ с мягкими ограничениями действия контроллера очень незначительны всякий раз, когда ошибка ближе к заданному значению (в пределах мягких ограничений), что приводит к замедленной работе.

Выводы

Разработана модель и алгоритмы автоматизированной системы управления технологическим процессом измельчения и представлены результаты практического использования системы ситуационного управления технологическим процессом, которая базируется на управления с прогнозирующими моделями.

Модель автоматизированной системы управления представляет собой систему со многими входами и многими выходами (ММО). Контроллер предназначен как для нормальной модели прогнозирующего управления, так и для модели прогнозирующего управления с мягкими ограничениями для схемы измельчения.

По сравнению с обычным многопетлевым ПИД-регулятором, результаты системы управления на основе УПМ - значительное улучшение производительности и управления процессом измельчения.

Результаты выполнения АСУ показывают, что предложенная система управления на основе УПМ является эффективным и практичным методом контроля шаровой мельницы в контуре измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Браун-Аквей, Разработка программного обеспечения для управления контуром помола / А. Н. Чохонелидзе, Ф. Лемпого, В. Браун-Аквей / Интернет-журнал «Науковедение», 2014 №3 (22) 2014 [Электронный ресурс]-М. Науковедение, 2014. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik22/66TVN314.pdf>, свободный.–Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
2. W. Brown-Acquaе Analysis of cement production process and review of control strategies and methods [Электронный ресурс] / А. N. Chokhonelidze, F. Lempogo, W. Brown-Acquaе, // Интернет-журнал «Науковедение», 2014. – №2 (24). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik24/26TAVN514.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус., англ.
3. В. Браун-Аквей, Разработка матричной модели замкнутой схемы измельчения / А. Н. Чохонелидзе, Ф. Лемпого, В. Браун-Аквей / Интернет-журнал «Науковедение», 2014 №3 (22) 2014 [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik22/77TVN514.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
4. Олейников В.А., Тихонов О.Н. Автоматическое управление технологическими процессами в обогатительной промышленности. – Л.: Недра, 1966. – 356 с.
5. Рей У. Методы управления технологическими процессами. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
6. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
7. Оптимизация технологии и управления измельчения на одной секции АНОФ-2: Отчет о НИР / ЛГИ; Руководитель О.Н. Тихонов. – Л., 1983. – 42 с.
8. Внедрение системы автоматического управления циклом измельчения I очереди АНОФ-2: Отчет о НИР/ ЦЛ ПО «Апатит»; Руководитель Г.Е. Златорунская. – Апа-титы, 1988. – 104 с.
9. Линч А.Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление: М., Недра, 1981, 243 с.
10. Морозов Е.Ф. Моделирование замкнутого цикла измельчения с классификацией в г1.
11. Boulvin, Renotte, V. Wouver, Remy, Tarasiewicz, and César (1999). Modeling, simulation and evaluation of control loops for a cement grinding process. *European Journal of Control*, 5, 10_18.
12. Magni, B. G, and W. V (1999). Multivariable nonlinear predictive control of cement mills. *IEEE. Transactions on Control System Technologies*, vol 7, 502508.
13. V. Van Breusegen, L. Chen, V. Werbrouck, G. Bastin, and V. Wertz, “Multivariable linear quadratic control of a cement mill: An industrial application,” *Contr. Eng. Practice*, vol. 2, pp. 605–611, 1994.

Рецензент: Матвеев Ю. Н., профессор кафедры электронных вычислительных машин Тверского государственного технического университета, д.т.н.

Chokhonelidze Alexander Nikolayevich

Tver state technical university
Russia, Tver
E-mail: a444595@pochta.ru

Forgor Lempogo

Tver state technical university
Russia, Tver
Ghana Technology University
Ghana, Accra
E-mail: forlemo@yahoo.co.nz

Brown-Acquaye William

Tver state technical university
Russia, Tver
Ghana Technology University
Ghana, Accra
E-mail: wbrownacquaye@hotmail.com

Development of automated control system for a closed ball mill grinding circuit using model predictive control

Abstract. In this article a regularized ℓ_2 -norm based finite impulse response (FIR) predictive controller with input and input-rate constraints is developed for the model of a closed ball mill grinding circuit with a high efficiency separator in a plant for production of cement. The estimator used is based on a simple constant output disturbance filter. The FIR based regulator problem is solved by convex quadratic program (QP) by converting the objective function into a standard form. The QP is solved using an algorithm based on interior point method. The performance of the predictive controller in the face of plant-model mismatch is investigated by simulations. The purpose of the automated control system is to simulate the circuit grinding cement by modeling the relationship between multiple input and output variables and to ensure effective management mechanism.

In this paper we apply model predictive control which is an improvement of the classical control with negative feedback, which takes into account the prediction of the behavior of the control object on the different types of input actions. Feedback control in such systems is used to correct the inaccuracies associated with the external noise and inaccuracy of the mathematical model of control object. The controller relies on the empirical process model to predict future behavior based on previous values of the state variables.

Keywords: cement grinding circuit; model; industrial processes; simulation automated control system ;model predictive control.

REFERENCES

1. V. Braun-Akvey, Razrabotka programmnoy obespecheniya dlya upravleniya konturom pomola / A. N. Chokhanelidze, F. Lempogo, V. Braun-Akvey / Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014 №3 (22) 2014 [Elektronnyy resurs]-M. Naukovedenie, 2014. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/sbornik22/66TVN314.pdf>, svobodnyy.–Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
2. W. Brown-Acquaye Analysis of cement production process and review of control strategies and methods [Elektronnyy resurs] / A. N. Chokhanelidze, F. Lempogo, W. Brown-Acquaye, // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014. – №2 (24). Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/sbornik24/26TAVN514.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. – yaz. rus., angl.
3. V. Braun-Akvey, Razrabotka matrichnoy modeli zamknutoy skhemy izmel'cheniya / A. N. Chokhanelidze, F. Lempogo, V. Braun-Akvey / Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014 №3 (22) 2014 [Elektronnyy resurs]-M.: Naukovedenie, 2014. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/sbornik22/77TVN514.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
4. Oleynikov V.A., Tikhonov O.N. Avtomaticheskoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami v obogatitel'noy promyshlennosti. – L.: Nedra, 1966. – 356 s.
5. Rey U. Metody upravleniya tekhnologicheskimi protsessami. – M.: Mir, 1983. – 368 s.
6. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. Modelirovanie sistem. – M.: Vysshaya shkola, 2001. – 343 s.
7. Optimizatsiya tekhnologii i upravleniya izmel'cheniya na odnoy sektsii ANOF-2: Otchet o NIR / LGI; Rukovoditel' O.N. Tikhonov. – L., 1983. – 42 s.
8. Vnedrenie sistemy avtomaticheskogo upravleniya tsiklom izmel'cheniya I ocheredi ANOF-2: Otchet o NIR/ TsL PO «Apatit»; Rukovoditel' G.E. Zlatorunskaya. – Apatity, 1988. – 104 s.
9. Linch A.Dzh. Tsikly drobleniya i izmel'cheniya. Modelirovanie, optimizatsiya, proektirovanie i upravlenie: M., Nedra, 1981, 243 s.
10. Morozov E.F. Modelirovanie zamknutogo tsikla izmel'cheniya s klassifikatsiey v gl.
11. Boulvin, Renotte, V. Wouwer, Remy, Tarasiewicz, and César (1999). Modeling, simulation and evaluation of control loops for a cement grinding process. *European Journal of Control*, 5, 10_18.
12. Magni, B. G, and W. V (1999). Multivariable nonlinear predictive control of cement mills. *IEEE. Transactions on Control System Technologies*, vol 7, 502508.
13. V. Van Breusegen, L. Chen, V. Werbrouck, G. Bastin, and V. Wertz, “Multivariable linear quadratic control of a cement mill: An industrial application,” *Contr. Eng. Practice*, vol. 2, pp. 605–611, 1994.