

И.В. Новицкий, д-р техн. наук; О.А Омелянченко
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Значительная часть эксплуатационных расходов обогатительных фабрик приходится на процессы сокращения крупности материала перед обогащением руд. Поэтому управление процессами измельчения и классификации, с целью обеспечения эффективности режимов работы технологического оборудования – актуальная задача.

В книге [1] отмечено, что в качестве критерия оптимизации работы барабанных мельниц самоизмельчения целесообразно использовать интенсивность колебаний рудной нагрузки A , которую можно измерить и регулировать путем изменения степени заполнения барабанной мельницы. Интенсификация колебаний рудной нагрузки наблюдается в узком диапазоне заполнений барабана и приводит к увеличению производительности мельницы по вновь образованному готовому продукту. Таким образом, цель управления измельчительным агрегатом состоит в поддержании такой степени заполнения барабана при котором критерий A принимает максимальное значение.

Подобная задача управления усложняется за счет объективных факторов: существенной нестационарности объекта управления, определяемой изменением свойств питания; действия целого ряда возмущающих воздействий; наличия технологических обратных связей (рециклов).

Перечисленные особенности объекта управления обуславливают, во-первых, необходимость применения адаптации в контуре управления системы; во-вторых, использование методов имитационного моделирования процессов управления измельчительным агрегатом для сравнительной оценки эффективности алгоритмов управления.

На рис.1 представлена функциональная схема системы управления процессом измельчения, где объект управления (ОУ) состоит из мельницы и классификатора; D_1 и D_2 – измерительные устройства, которые передают информацию об интенсивности колебаний A и активной мощности P в устройство управления. На основании этих данных управляющее устройство (УУ) вырабатывает управляющее воздействие, регулирующее скорость полотна питателя мельницы исходной рудой.

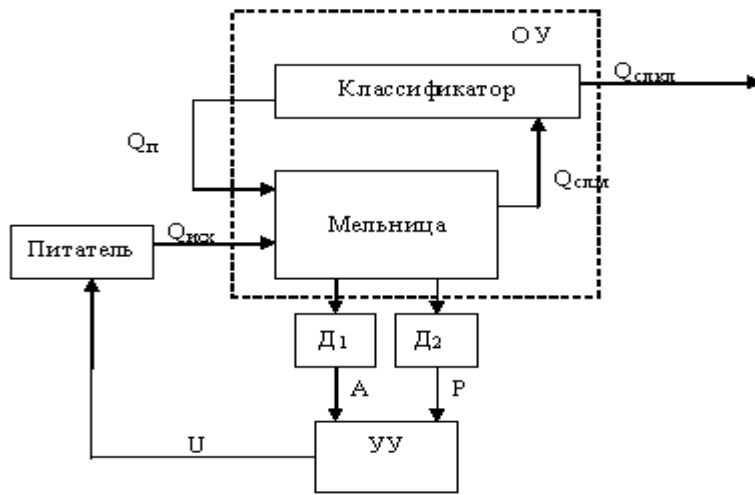


Рис.1. Функциональная схема измельчительного агрегата

Также на рисунке обозначены потоки: $Q_{сл.кл}$ - слива классификатора; $Q_{сл.м}$ - слива мельницы; Q_n - песков; $Q_{исх}$ - исходного питание мельницы.

На рис.2 представлена структурная схема системы автоматического управления процессом измельчения. Измельчительный агрегат состоит из барабанной мельницы и классификатора.

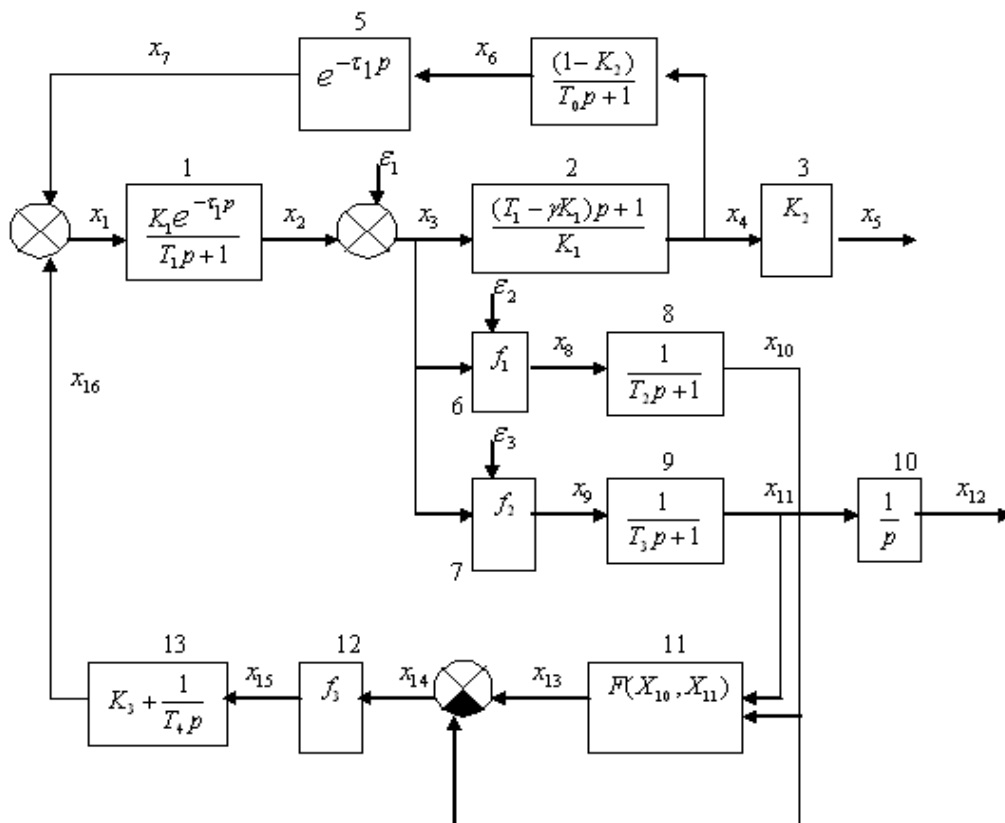


Рис.2. Структурная схема системы управления измельчительным агрегатом

Барабанная мельница по каналу «поток материала в мельницу X_1 – степень заполнения» представлена апериодическим звеном с запаздыванием 1. На

выходе данного звена действует аддитивная помеха ε_1 с нулевым математическим ожиданием, которая вызывает в узком диапазоне случайные изменения заполнения X_3 относительно среднего значения. Звено 2 связывает степень заполнения X_3 с выходным потоком твердого мельницы X_4 , где коэффициент γ показывает сколько тонн материала приходится на процент заполнения мельницы. Звенья 3, 4 и 5 описывают классификатор. Поток материала X_4 разделяется на слив X_5 и пески X_7 , которые поступают обратно на вход мельницы. Соответственно $0 < K_2 < 1$. Звенья 6 – 13 описывают средства сбора и переработки информации, а также исполнительный механизм.

Колебания рудной нагрузки возникают в узком диапазоне заполнения $\varphi_1^* \dots \varphi_2^*$, поэтому звено 7 является нелинейным безинерционным и описывается функцией

$$X_9 = f(X_3) = 0.5 \text{Sign}[(X_3 - \varphi_1^* - \varepsilon_3)(\varphi_2^* + \varepsilon_3 - X_3)] + 0.5,$$

где ε_3 - случайная величина, вызывающая смещение диапазона возникновения колебаний. Звено 9 характеризует инерционность информационных и измерительных цепей. X_{11} – измеренное значение критерия оптимизации. В качестве функционала эффективности используется выражение

$$X_{12} = \int_0^T X_{11} dt,$$

так как цель управления – максимизация значения X_{11} .

Степень заполнения мельницы необходимо поддерживать в определенном диапазоне $\varphi_1^* \dots \varphi_2^*$. Для этого необходимо непрерывно оценивать текущую степень заполнения. Это можно осуществить с помощью средней мощности двигателя мельницы X_8 , которая зависит от X_3 и случайных факторов ε_2 , т.е. звено 6:

$$X_8 = f_1(X_3, \varepsilon_2).$$

Инерционность измерительных цепей характеризует звено 8. Звено 11 представляет собой управляющую часть, где вырабатывается задание по параметру оптимизации X_{10} . Рассогласование $X_{14} = X_{13} - X_{10}$ используется для регулирования по ПИ-закону потока исходного материала X_{16} в измельчительный агрегат – звено 13. Зона нечувствительности по X_{14} задается звеном 12. Поисковый алгоритм представляет собой правило преобразования параметра X_{10} и критерия оптимизации X_{11} в задание по мощности X_{13} , т.е.

$$X_{13} = F(X_{10}, X_{11}).$$

Правила преобразования $F(X_{10}, X_{11})$ могут быть различными. Для опи-

сываемой системы управления были рассмотрены два поисковых алгоритма. Первый – алгоритм поиска с постоянным шагом. Процесс поиска представляет собой последовательность шагов, на каждом из которых осуществляется выход на уровень задания по параметру P на уровне $P_{зад}$. Второй – алгоритм поиска с переменным шагом по параметру оптимизации. Шаг ΔP является переменным и изменяется в заданном интервале $\Delta P_{min} < \Delta P < \Delta P_{max}$. По мере движения в сторону экстремума ΔP уменьшается и при выходе в район экстремума принимает значение ΔP_{min} .

В соответствии с представленной моделью (рис.2) был составлен алгоритм имитационного моделирования, основанный на принципе Δt .

Результаты моделирования представлены на рис.3-4 и подтверждают работоспособность предлагаемой имитационной модели. На рис. 3 изображены переходные процессы выхода системы в район экстремума по критерию A и его удерживание при реализации поискового алгоритма с постоянным шагом; рис.4 – те же процессы, но для алгоритма с переменным шагом по параметру оптимизации P . Из графиков видно, что после выхода в область экстремума работа системы направлена на удерживание ее в задаваемых преде-

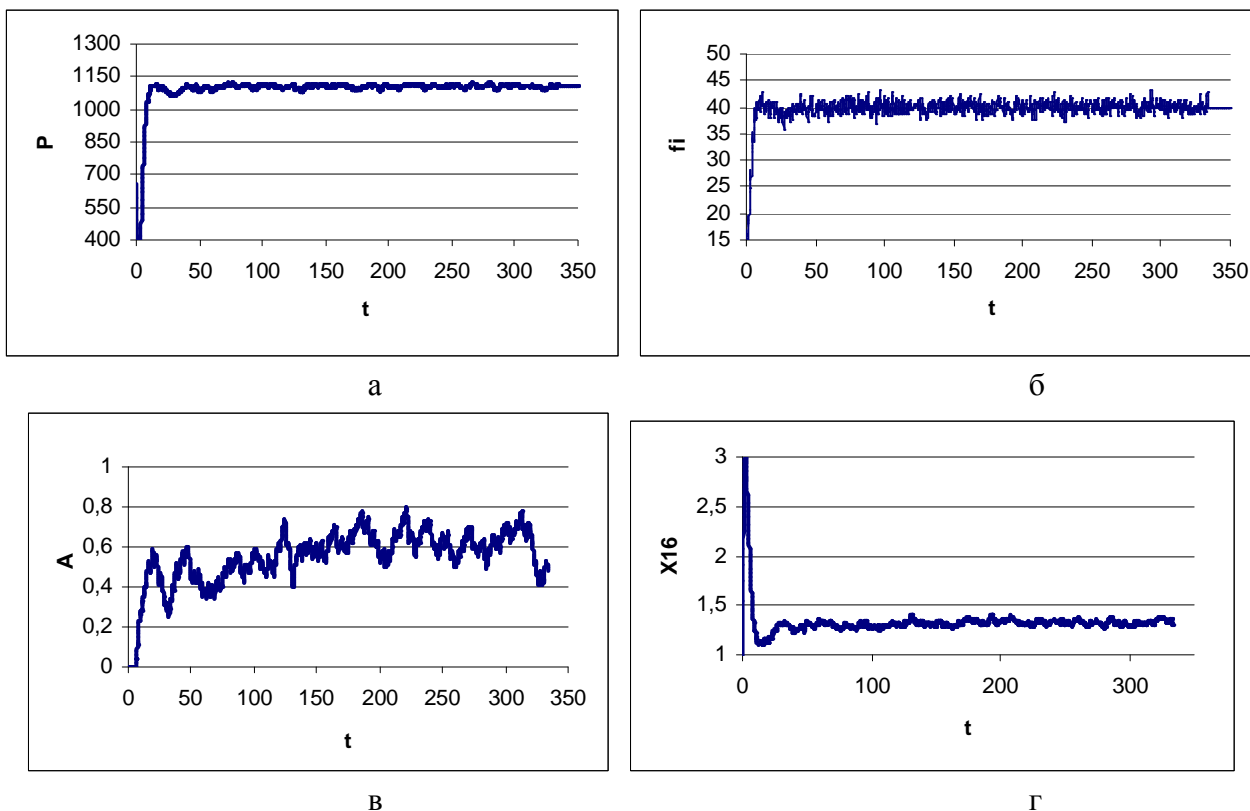


Рис.3. Процесс изменения активной мощности (а), степени заполнения (б), интенсивности колебания внутримельничной нагрузки (в) и количества руды, поступающей в барабанную мельницу через питатель(г), при реализации поискового алгоритма с постоянным шагом

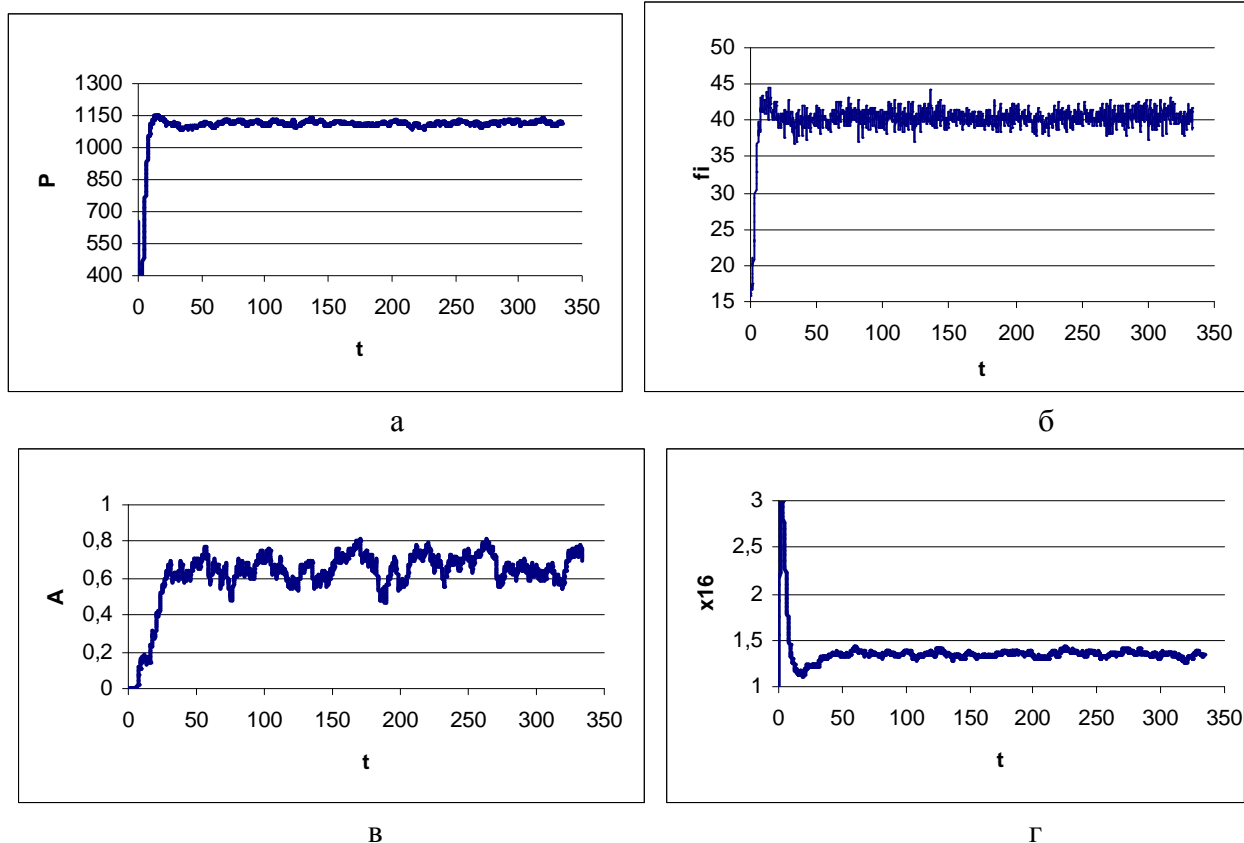


Рис.4. Процесс изменения активной мощности (а), степени заполнения (б), интенсивности колебания внутримельничной нагрузки (в) и количества руды, поступающей в барабанную мельницу через питатель(г), при реализации поискового алгоритма с переменным шагом по параметру оптимизации P

лах изменения φ : 39-41%. Значение критерия X_{12} для первого алгоритма составило 1037, а второго – 1103. Таким образом можно сделать вывод, что второй алгоритм является более эффективным для решения поставленной задачи удерживания экстремума критерия A .

При имитационном моделировании предполагалось, что параметры объекта постоянны. Однако в действительности измельчительный агрегат, как объект управления, является существенно нестационарным. Его параметры (K_1, T_1) меняются в зависимости от свойств перерабатываемой руды, степени износа оборудования и других факторов. В дальнейшем необходимо учесть нестационарность объекта и предусмотреть в контуре управления адаптивную настройку параметров ПИ-регулятора.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что имитационное моделирование позволяет выполнить расчеты процессов, происходящих в системе управления измельчительным агрегатом и сравнить эффективность реализации различных поисковых алгоритмов. Повышение эффективности процесса управления объектом возможно за счет применения адаптивной системы управления.

Список литературы

1. Новицкий И.В. Автоматическая оптимизация процессов самоизмельчения руд в барабанных мельницах. – Д.: Системные технологии, 2000. – 195с.