

4. Папировский, Р. В. Система управления гидроагрегатами Саяно-Шушенской ГЭС на основе Simatic PCS7 [Электронный ресурс] / Р. В. Папировский // «ИСУП». – 2012. – № 3 (39). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/2998/>.
5. Плетнёв, В. В. АСУ гидроагрегатов Загорской ГАЭС: особенности внедрения, эксплуатации и развития [Электронный ресурс] / В. В. Плетнёв // «ИСУП». – 2012. – № 2 (38). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/2515/>.
6. Ang, K. H. PID control system analysis, design, and technology [Text] / K. H. Ang, G. Chong, Y. Li // IEEE Trans. on Control Syst. Tech. – 2005. – Vol. 13, № 4. – P. 559–576.
7. Astrom, K. J. Advanced PID control [Text] / K. J. Astrom, T. Hagglund. – ISA. The Instrumentation, System, and Automation Society, 2006. – 460 p.
8. Li, Y. Patents, Software, and Hardware for PID control [Text] / Y. Li, K. H. Ang, G. C. Y. Chong // An overview and analysis of the current art. IEEE Control Systems Magazine. – 2006. – P. 41–54.
9. Денисенко, В. В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации [Текст] / В. В. Денисенко // Журнал «СТА». – 2006. – № 4. – С. 66–74.
10. Денисенко, В. В. Разновидности ПИД-регуляторов [Текст] / В. В. Денисенко // Автоматизация в промышленности – 2007. – № 6. – С. 45–50.
11. Тарасов, В. Н. Проблемы динамической устойчивости гидроагрегата [Текст] : семинар ЦАГИ / В. Н. Тарасов // ООО «ДИА-MEX 2000», 2009.
12. European Patent Office (EPO) [Electronic resource] / Available at: <http://gb.espacenet.com>.
13. Башнин, О. И. О гидроакустическом резонансе и причинах пульсации давления в водоводах Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / О. И. Башнин // Журнал «Гидротехника XXI века». – 2012. – 4 (11).
14. Zwart, P. J. Two-Phase Flow Model for Predicting Cavitation Dynamics [Text]: intern. conf. / P. J. Zwart, A. G. Gerber, T. A. Belamri // Multiphase Flow Yokohama. – Japan, 2004. – Paper. № 152.

У роботі пропонується рішення задачі підвищення ефективності технологічного процесу дроблення руди шляхом розробки дворівневої системи автоматизованого керування конусної дробарки з контуром пошукового екстремального управління за техніко-економічним критерієм. Проведено обчислювальні експерименти, які продемонстрували, що залежність критерію носить унімодальний характер в області зміни керувань. Впровадження розробленої системи у виробництво дозволить підвищити економічну ефективність на 4,4 %.

Ключові слова: конусна дробарка, критерій оптимізації, пошукове екстремальне керування, ієрархічна система, моделювання

В работе предлагается решение задачи повышения эффективности технологического процесса дробления руды путем разработки двухуровневой системы автоматизированного управления конусной дробилкой с контуром поискового экстремального управления по технико-экономическому критерию. Проведены вычислительные эксперименты, которые продемонстрировали, что зависимость критерия носит унимодальный характер в области изменения управлений. Внедрение разработанной системы в производство позволит повысить экономическую эффективность на 4,4 %

Ключевые слова: конусная дробилка, критерий оптимизации, поисковое экстремальное управление, иерархическая система, моделирование

УДК 621.926.2:681.5.017:681.5.032

ДВУХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКОЙ

А. Ю. Михайленко

Ассистент
Кафедра электроснабжения и энергетического менеджмента
«Криворожский национальный университет»
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог,
Украина, 50027
E-mail: epem.mykhailenko@gmail.com

1. Введение

Проблема рационального использования природных и энергетических ресурсов, в условиях постепен-

ного истощения запасов минерального сырья и постоянного повышения цен на топливо и электроэнергию, занимает ведущее место, как в международной, так и государственной политике отдельных стран. В обла-

сти производства значительная ресурсо- и энергоёмкость свойственна технологическим процессам предприятий, входящих в состав горно-металлургического комплекса, в частности процессам рудообогатительных фабрик (РОФ), которые включают подготовку руды к обогащению путем многостадийного дробления. В структуре денежных расходов на производство конечной сырья РОФ на дробление приходится около 10,6 % [1] от их общего объема. Поэтому необходимость повышения экономической эффективности указанных технологических процессов требует разработки новых и усовершенствования существующих способов управления.

Процесс уменьшения крупности руды в конусных дробилках характеризуется многомерностью, многосвязностью, нелинейностью, влиянием физико-механических свойств сырья на производительность, износ футеровочной брони и элементов агрегата. Системы автоматизированного управления (САУ) дробилками, которые применяются в промышленности, обычно ориентированы на поддержание качественных показателей дробленого материала без использования контуров оперативной оценки и максимизации прибыли, что приводит к потерям, обусловленным нерациональными, с точки зрения конечной цели управления предприятием, режимами функционирования оборудования.

Поэтому, достаточно актуальным направлением научных исследований является совершенствование существующих способов управления технологическим процессом дробления руды путем разработки методов и алгоритмов экстремального регулирования для формирования оптимальной программы управления конусной дробилкой на определенном интервале времени. Это позволит при внедрении в производство повысить эффективность работы действующего технологического оборудования и снизить себестоимость готовой продукции при заданном ее качестве.

2. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка двухуровневой САУ процессом уменьшения крупности руды в конусных дробилках, которая обеспечит повышение экономической эффективности за счет поиска и поддержки экстремального значения технико-экономического критерия оптимизации, по которому производится оценка качества функционирования технологического объекта.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие основные задачи:

- формализовать и обосновать технико-экономический показатель для оценки качества работы конусной дробилки для определения рационального режима ее функционирования;
- разработать двухуровневую систему автоматизированного управления технологическим процессом дробления руды в конусных дробилках с контуром поискового экстремального управления по технико-экономическому критерию;
- выполнить имитационное моделирование предложенной системы с оценкой эффективности внедрения в производство.

3. Анализ литературных данных

Все созданные в настоящее время системы автоматизированного управления конусными дробилками можно условно разделить на два класса: системы управления производительностью дробильных машин и системы управления гранулометрическим составом.

Одной из последних разработок в области автоматизированного управления дроблением является система, которая реализует принцип регулирования производительности агрегата КМД-3000Т2-ДП за счет изменения скорости загрузки руды с учетом ширины разгрузочной щели [1]. Для этого определяется пропускная способность дробилки с ограничением по току привода. Ширина разгрузочного отверстия рассчитывается по принципу «шаговой переработки». Дополнительно используется такой параметр, как удельное потребление мощности и тона дробленого материала.

Существенный недостаток рассматриваемой системы состоит в том, что регулирование разгрузочной щели осуществляется с помощью гидроагрегата вручную. Таким образом, автоматическим есть только контур управления скоростью загрузки руды в дробилку.

Некоторые системы управления дробилками реализуют принцип поддержки загрузки агрегата материалом близким к критическому. При этом обеспечивается максимальная производительность при необходимой крупности продуктов дробления. Однако существенным недостатком являются высокие показатели потребления электроприводом электрической энергии.

Значительное количество систем управления гранулометрическим составом создано на базе дробилок «Hydroscope» [2]. При разработке систем было учтено влияние таких факторов, как гранулометрический состав, влажность и крупность исходного сырья, на эффективность работы дробильного агрегата. Современные дробилки «Hydroscope» оснащены системой управления величиной разгрузочной щели последнего поколения ASRi [3]. Система имеет инструменты стабилизации параметров, характеризующих процесс дробления. При этом она не учитывает экономические показатели.

Принципы построения многоуровневых систем управления предполагают декомпозицию исходной системы на подсистемы [4]. Это осуществляется на основе её физической или логической структуры. Каждой подсистемой при этом управляет локальный регулятор. Достижение цели управления предполагает согласованное функционирование всех уровней иерархии. Для этого используется координирующее устройство управления, формирующее задание локальным контурам стабилизации [5].

Синтез иерархической системы управления с использованием линейных моделей для описания подсистем на всех уровнях рассмотрен в [6]. При этом информация передается снизу вверх. Линейные устройства координации проанализированы в [7], нелинейным посвящено исследование [8].

Идея многоуровневого управления используется для решения сложных оптимизационных задач при условии возможности их разложения на независимые подзадачи [4]. Система высокого уровня определяет

точку оптимума основной целевой функции с учетом ограничений, которые накладываются, как на переменные системы в целом, так и её отдельных подсистем.

4. Формализация критерия качества управления

В современных условиях для оптимизации технологических процессов РОФ в системах управления верхнего уровня все чаще используют технико-экономические или экономические критерии. Широкое распространение такого подхода объясняется универсальностью стоимостных оценок, опираясь на которые обеспечивается наиболее выгодное ведение технологических процессов с позиции достижения цели управления предприятием в целом. При этом процессы рудоподготовки не является исключением.

Для оптимизации технологического процесса дробления руды предлагается использовать критерий И. А. Буrowого рассмотренный в [9], который позволяет осуществлять оценку качества работы процессов обогащения:

$$J = \frac{1}{t} \left(\sum \gamma_i \Pi_{ki} - \sum S_j C_j - C_A \right) \rightarrow \max, \tag{1}$$

где γ_i – выход i -го продукта, т; Π_{ki} – стоимость 1 т i -го продукта, ден. ед.; S_j – расход j -го материала, т; C_j – стоимость j -го материала, ден. ед.; C_A – амортизационные расходы, ден. ед.; t – время процесса.

При оптимизации объекта с использованием показателя эффективности (1) целью управления является получение максимальной прибыли за некоторый промежуток времени.

Учитывая, что критерий содержит кинетическую составляющую – время операции, он более пригоден для оптимизации периодических процессов, которые имеют четко выраженные границы операции [10]. Началом является загрузка сырья в технологическую установку, а окончанием – выгрузка готового продукта.

С непрерывными процессами, к которым относится технологический процесс дробления, ситуация более сложная. Границы операции выделить невозможно, поэтому их необходимо устанавливать искусственно. Можно выделить два пути решения этой задачи: проводить оценку функционирования объекта управления или на равных интервалах времени, или при каждом дроблении установленного количества руды. В данной работе используется второй подход.

Рассмотрев более подробно выражение (1), его можно условно разделить на три составляющие: функция затрат $\sum S_j C_j + C_A$, функция дохода $\sum \gamma_i \Pi_{ki}$ и время, за которое осуществляется оценка эффективности процесса t . С учетом особенностей технологического процесса дробления большинство исследователей [9, 11, 12] к функции затрат относят стоимость руды, которая подвергается дроблению, и стоимость потребленной электроэнергии. При этом недостаточно внимания уделяется вопросу, связанному с влиянием на эффективность производственного процесса износа технологического оборудования. Это объясняется тем, что невозможно контролировать расход футеровки

в процессе эксплуатации. Однако износ может быть определен косвенно, опираясь на данные о количестве дробленого материала, что подтверждается исследованиями [13, 14].

Поэтому критерий оптимизации должен отражать влияние этого фактора на эффективность функционирования дробильных агрегатов.

Главным назначением дробилки является выдача дробленого продукта определенного гранулометрического состава с максимальной производительностью. При этом превышение процента содержания контрольного класса крупности, установленного технологической инструкцией, недопустимо. Поэтому в функцию затрат дополнительно необходимо ввести штраф пропорциональный количеству дробленого продукта, которое не соответствует требуемым показателям качества.

В связи с вышеизложенным, функция затрат может быть представлена следующим выражением:

$$x = C_{x_m} \cdot \int_{t_n}^{t_{n+1}} x_m(t) dt + C_{y_p} \cdot \int_{t_n}^{t_{n+1}} y_p(t) dt + C_{y_w} \cdot \int_{t_n}^{t_{n+1}} y_w(t) dt + C_f \cdot \int_{t_n}^{t_{n+1}} f(t) dt, \tag{2}$$

где t_n – время завершения предыдущего интервала расчета и начала текущего, ед. врем.; t_{n+1} – время завершения текущего интервала расчета и начала следующего, ед. врем.; $x_m(t)$ – количество материала загруженного в дробилку течение цикла, т; $y_p(t)$ – электроэнергия, которую потребляет электропривод за цикл работы, кВт·ч; C_{x_m} – стоимость материала загруженного в дробилку, ден. ед./т; C_{y_p} – тариф на электроэнергию, ден. ед./кВт·ч; $y_w(t)$ – расходы футеровки, т; C_{y_w} – стоимость брони, ден. ед./т; $f(t)$ – количество дробленой руды в которой содержание класса превышает контрольное значение, т; C_f – штраф за превышение, который обуславливается стоимостью руды, не соответствующей установленному качеству выходного продукта, ден. ед./т.

Функция дохода определяется единственной составляющей – стоимостью выходного продукта дробильного агрегата за период времени, на котором осуществляется оценка:

$$y = C_{y_m} \cdot \int_{t_n}^{t_{n+1}} y_m(t) dt, \tag{3}$$

где $y_m(t)$ – количество дробленой руды, т; C_{y_m} – цена дробленой руды, ден. ед./т.

Таким образом, с учетом выражений (2), (3) при условии, что $\sum \gamma_i \Pi_{ki} = y$ и $\sum S_j C_j + C_A = x$ критерий (1) примет вид:

$$J = \frac{1}{t} \left[C_{y_m} \int_{t_n}^{t_{n+1}} y_m(t) dt - \left(C_{x_m} \int_{t_n}^{t_{n+1}} x_m(t) dt + C_{y_p} \int_{t_n}^{t_{n+1}} y_p(t) dt + C_{y_w} \int_{t_n}^{t_{n+1}} y_w(t) dt + C_f \int_{t_n}^{t_{n+1}} f(t) dt \right) \right]. \tag{4}$$

Необходимость контроля величин составляющих показатель (4) определяет конфигурацию системы управления.

5. Обработка экспериментальных данных и визуализация системы управления

Опираясь на предложенные в [10, 15] принципы синтеза двухуровневых САУ с оптимизацией по технико-экономическому критерию, была разработана структура САУ конусной дробилкой мелкого дробления (рис. 1). Она состоит из объекта управления на нижнем уровне, систем управления конвейером-питателем и гидроприводом для стабилизации (с целью упрощения на схеме не указаны), соответственно, производительности дробилки и гранулометрического состава, которые находятся между накопительным бункером дробленой руды поступающей из агрегатов стадии среднего дробления и параболическим бункером РОФ, который обеспечивает сырьем секции измельчения. Для управления уровнем запаса продукта в хранилищах используются релейные регуляторы 1, 2.

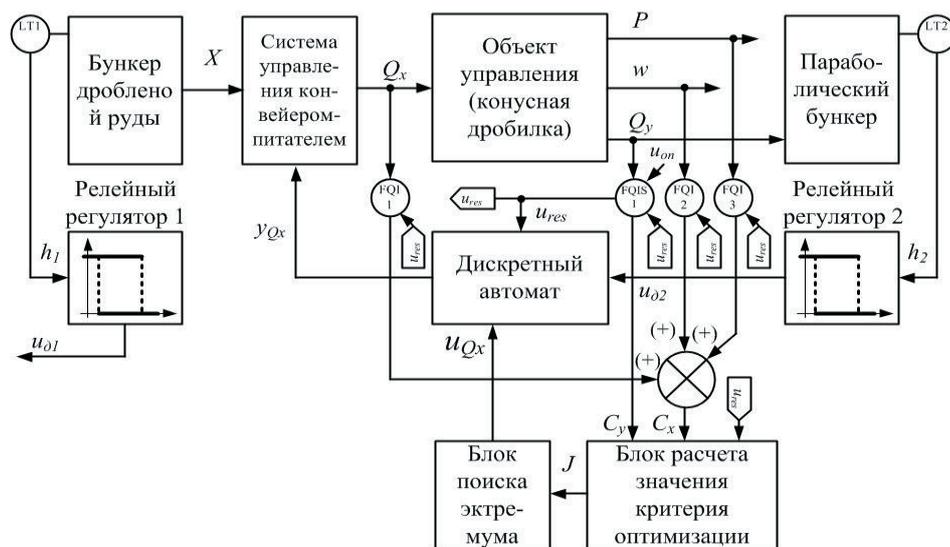


Рис. 1. Блок-схема поисковой системы экстремального управления конусной дробилкой с использованием технико-экономического критерия

Для реализации многоуровневой поисковой системы экстремального управления, существующие локальные контуры стабилизации должны быть дополнены элементами расчета критерия оптимизации, поиска и удержания максимального значения показателя качества.

Измерительная часть системы состоит из датчиков, определяющих массу руды на входе и выходе технологической установки, например, конвейерных весов и интегрирующих устройств FQI1 и FQIS1 для измерения расхода материала. Элемент FQIS1 дополнительно оснащен устройством для выдачи сигнала после прохождения установленного количества руды. Уровень загрузки емкостей контролируется датчиками уровня LT1, LT2. Расчетный расход брони определяется эле-

ментом FQI2. Для подсчета активной мощности затрачиваемой приводом в процессе дробления может быть использован цифровой регистратор потребленной электроэнергии (на схеме представлен интегратором FQI3) на базе токового шунта, резистивного делителя и интегральной схемы счетчика электроэнергии.

Стоимость израсходованных в течение цикла функционирования системы ресурсов определяется путем установления в качестве коэффициентов усиления интеграторов FQIS1, FQI1, FQI2, FQI3 тарифов на соответствующий ресурс.

Транспортировка руды, выгруженной из накопительного бункера, в конусную дробилку осуществляется конвейерным трактом с производительностью Q_x , параболический бункер загружается дробленой рудой по тракту с интенсивностью Q_y .

Система управления функционирует при наличии сигнала высокого уровня на управляющем входе дискретного автомата $u_{д2}$. Это воздействие формируется релейным регулятором системы управления запасами параболического бункера и свидетельствует о том, что уровень материала в бункере достиг нижнего предела. При этом дискретный автомат запоминает значение сигнала на входе u_{Qx} , амплитуда которого характе-

ризует скорость загрузки руды в дробилку и является воздействием уставки для контура стабилизации производительности технологического агрегата, и передает его на выход u_{Qx} . При дроблении руды, количество которой устанавливается опорным сигналом $u_{оп}$, интегрирующее устройство FQIS1 выдает сигнал готовности $u_{рес}$ уровня логической единицы, который сигнализирует о возможности изменения величины уставки. По переднему фронту сигнала $u_{рес}$ происходит сброс интегратора в начальное состояние. То есть дискретный автомат находится между нижним и верхним иерархическим уровнем САУ и выполняет функцию координации.

Расчет показателя эффективности J осуществляется по переднему фронту сигнала $u_{рес}$, который фиксирует момент завершения текущего цикла работы конусной дробилки и также соответствует моменту начала новой операции.

При этом время начала операции t_n запоминается до следующего вычисления J . Разница между моментом t_{n+1} , в который происходит рост сигнала $u_{рес}$ и сохраненным в памяти элементом значением t_n дает в результате время цикла функционирования агрегата. С входов C_x и C_y снимаются данные, соответственно составляющие функции затрат и дохода критерия оптимизации. Результат расчета передается на вход блока поиска экстремума J , который в зависимости от

по которому происходит сброс интеграторов, изменение управляющего воздействия блоком Triggered Iterator Subsystem и вычисления критерия оптимизации элементом Calculation the Objective Function.

Алгоритм поиска оптимума реализован в блоке Extremum Seeking Mechanism.

Для построения модели технологического объекта Nonlinear Crusher Model (рис. 3) был проведен анализ рассмотренных в [16] семейств статических характеристик конусной дробилки Hydrocone по основным каналам управления. Путем аппроксимации полиномами второго порядка были получены: аналитическая функция двух переменных – ширины выходной щели и продуктивности по исходному питанию, которая отражает влияние этих двух величин на мощность потребляемую электроприводом агрегата (блок $P=f(Q_x, b)$):

$$P(b, Q_x) = -445,752 + 164,86 \cdot b - 11,6473 \cdot b^2 + (2,95295 - 0,963011 \cdot b + 0,0658797 \cdot b^2) \cdot Q_x + (-14,0585 \cdot 10^{-4} + 10,2103 \cdot 10^{-4} \cdot b - 77,3449 \cdot 10^{-6} \cdot b^2) \cdot Q_x^2,$$

где P – потребляемая мощность, кВт·ч, b – ширина разгрузочной щели, мм, Q_x – скорость загрузки руды, т/ч.

И функция содержания контрольного класса крупности от ширины выходной щели и входной производительности дробилки (блок $g=f(Q_x, b)$):

$$\gamma(b, Q_x) = -15,4039 + 19,0982 \cdot b - 1,02966 \cdot b^2 + (0,169903 - 0,0875103 \cdot b + 0,00491523 \cdot b^2) \cdot Q_x + (-0,2768 \cdot 10^{-3} + 0,1037 \cdot 10^{-3} \cdot b + 0,593331 \cdot 10^{-5} \cdot b^2) \cdot Q_x^2,$$

где γ – содержание контрольного класса крупности в дробленой руде, %.

Опираясь на данные, приведенные С. Е. Андреевым [13] и Б. В. Клушанцевым [14], в качестве рабочей гипотезы было принято, что износ элементов агрегата зависит от производительности дробилки и может быть представлен степенной зависимостью (блок *Polynomial*):

$$w(Q_y) = 0,00860036 - 0,000025464 \cdot Q_y + 2,06071 \cdot 10^{-7} \cdot Q_y^2,$$

где w – расход футеровки дробящего конуса и внешней чаши, т/ч, Q_y – производительность дробилки, т/ч.

Установление динамических свойств объекта осуществлялось путем анализа в пакете System Identification Toolbox программного комплекса MATLAB разгонных кривых, полученных в результате пассивного эксперимента на универсальных конусных дробилках Sandvik Hydrocone в условиях дробильной фабрики №2 «Новокривожеского горно-обогатительного комбината» ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

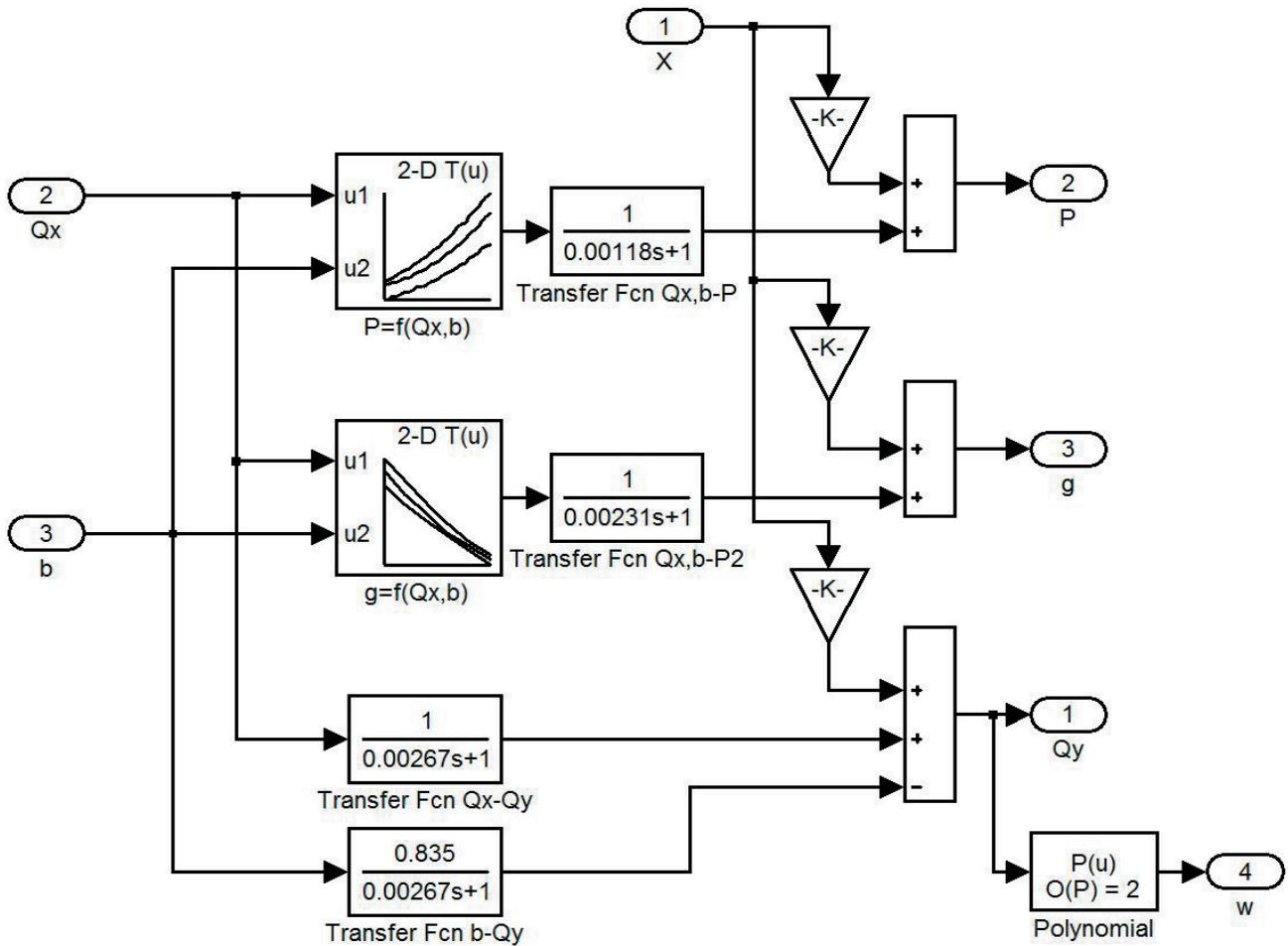


Рис. 3. Блок-схема нелинейной динамической модели объекта управления (Nonlinear Crusher Model)

В связи с тем, что в качестве единицы модельного времени был принят 1 час функционирования установки, постоянные времени апериодических звеньев в секундах были пересчитаны с учетом этой особенности.

При проведении численного эксперимента расчет критерия оптимизации выполнялся при дроблении каждых 10 т руды. При этом значение управляющего воздействия увеличивалось на 0,5 т/ч при каждой итерации. Цены на ресурсы устанавливались в национальной валюте Украины. Тариф на электроэнергию для промышленных предприятий вместе с НДС составляет 1,13 грн/кВт·ч, стоимость дробленой руды – 29,65 грн/т, стоимость входной руды – 25,92 грн/т, стоимость брони с монтажными работами – 18250 грн/т.

В результате имитационного моделирования были получены графики изменения целевой функции (рис. 4) в диапазоне управляющих воздействий 250÷400 т/ч при значениях ширины разгрузочной щели 4,76, 6,35 и 9,53 мм. Установлено, что критерий оптимизации имеет глобальный экстремум. Смещение оптимума показателя происходит вверх и вправо по мере увеличения ширины проема. Так, при $b = 4,76$ мм максимум критерия $J = 797$ грн/ч достигается при производительности по исходному питанию $Q_x = 421$ т/ч; при $b = 6,35$ мм экстремум находится в точке $Q_x = 436$ т/ч и $J = 834$ грн/ч, а при $b = 9,53$ мм – в точке $Q_x = 449,5$ т/ч и $J = 867$ грн/ч. Таким образом, уменьшение ширины разгрузочной щели с 9,35 мм до 6,35 мм приводит к снижению максимального значения критерия оптимизации на 3,8 %, а дальнейшее изменение – к снижению J на 8,7 %.

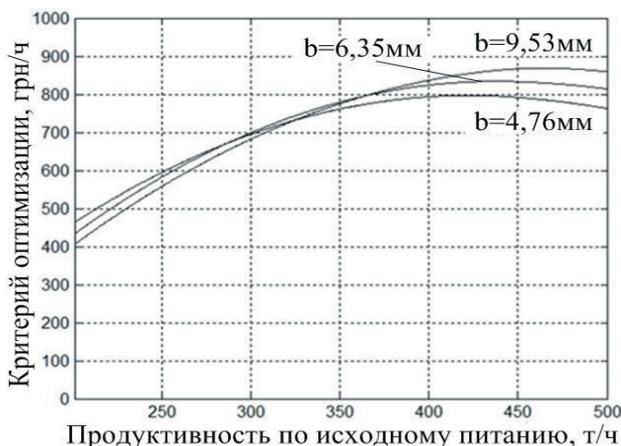


Рис. 4. Зависимость критерия оптимизации от скорости загрузки руды в технологический объект при различных значениях ширины разгрузочной щели

Для оценки эффективности разработанной системы управления необходимо сравнить базовый вариант управления процессом уменьшения крупности руды, который осуществляет стабилизацию установленной производительности технологической установки в течение всего времени функционирования, и разработанной двухуровневой поисковой системы экстремального управления. При этом рассчитывается значение критерия оптимизации до и после установки предложенной системы управления на некотором интервале времени. Вычисление выполняет-

ся согласно модифицированному выражению, предложенному в [9]:

$$\Delta J = \int_0^t J_e(X_e, Q_{xe}) - \int_0^t J_f(X_f, Q_{xf}), \tag{6}$$

где J_e, J_f – значение критерия оптимизации при экстремальном управлении и стабилизации, X_e, X_f – значение возмущающих воздействий при экстремальном управлении и стабилизации, Q_{xe}, Q_{xf} – значения управляющих воздействий при экстремальном управлении и стабилизации, t – интервал времени на котором происходит сравнение эффективности двух систем.

Проведенные с помощью модели (рис. 3) исследования показали, что при экстремальном управлении при условии непрерывности работы конусной дробилки течение суток прибыль составляет 21263,24 грн., а при стабилизации 20369,59 грн. Таким образом, можно оценить эффективность от внедрения системы управления:

$$\Delta J = 21263,24 \text{ грн} - 20369,59 \text{ грн} = 893,64 \text{ грн.},$$

что в процентах составляет:

$$\Delta J = \frac{21263,24 \text{ грн} \cdot 100\%}{20369,59 \text{ грн}} - 100\% = 4,4\%.$$

Результаты имитационного моделирования процесса оптимального управления конусной дробилкой представлены на рис. 5.

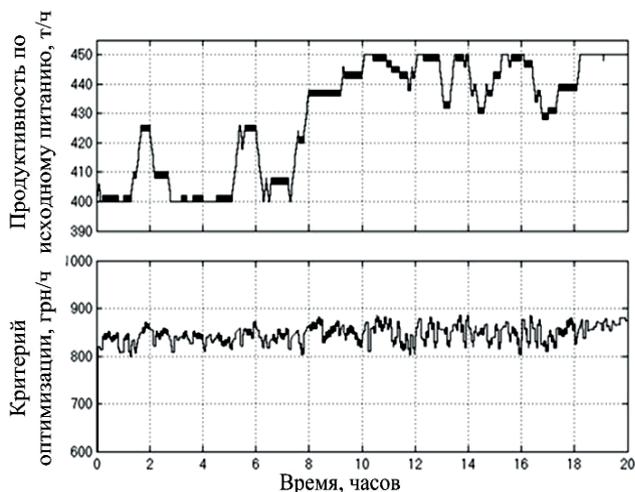


Рис. 5. Оциллограммы работы многоуровневой системы управления технологическим процессом

В итоге можно констатировать, что разработанная система, которая обеспечивает поддержание максимального значения показателя эффективности, может быть применена при автоматизированном управлении процессами уменьшения крупности руды в конусных дробилках.

6. Выводы

Формализован критерий для оценки эффективности работы технологического объекта, осуществля-

ющего дробление руды. Предложено использовать технико-экономический показатель, который прямо пропорционален разности между функциями прибыли и затрат и обратно пропорционален интервалу времени на котором производится расчет. Преимущество критерия заключается том, что он обладает прозрачным экономическим смыслом, который отражает скорость получения прибыли. В качестве управляющей воздействия используется производительность по входному питанию.

Результаты компьютерных экспериментов на аналитической модели объекта управления позволили сделать вывод, что показатель качества функционирования конусной дробилки имеет глобальный экстремум в области изменения управляющих воздействий.

Выполнен анализ характера реакции технико-экономического критерия на влияние возмущающего воздействия (ширина разгрузочной щели). Установлено, что под действием этого фактора происходит измене-

ние положения глобального максимума, что позволяет использовать методы экстремального управления при разработке САУ.

Разработана поисковая система экстремального управления конусной дробилкой мелкого дробления, которая обеспечивает удержание объекта управления в состоянии оптимума технико-экономического критерия качества путем изменения производительности по входному питанию за счет регулирования скорости движения ленты конвейера. Указанной САУ дополняются существующие локальные контуры стабилизации главных исходных величин, что требует незначительных затрат на внедрение.

Выполнено имитационное моделирование работы предложенной двухуровневой САУ в динамике. Анализ полученных результатов показал, что разработанная система управления процессом дробления руды позволяет в течение суток повысить экономическую эффективность работы объекта управления на 4,4 %.

Литература

1. Богданчиков, В. М. Совершенствование автоматизации дробильно-размольного оборудования [Текст] / В. М. Богданчиков, С. П. Цедилкин, В. В. Марамекин // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. - № 7. - С. 26-31.
2. Hulthen, E. Real-time optimization of cone crushers: PhD Thesis / Erik Hulthen. – Goteborg, 2010. – 68 p.
3. ASRi – новая интеллектуальная система управления дробилкой // Строительно-дорожная индустрия. – 2005. – №20. – С.18-19.
4. Gromov, D. Analysis of Hierarchical Structures for Hybrid Control Systems: PhD Thesis [Text] / D. Gromov. - Berlin, 2010. – 118 p.
5. Scattolini, R. Architectures for distributed and hierarchical Model Predictive Control – A review [Text] / R. Scattolini // Journal of Process Control. – 2009. – Vol. 19. – P. 723-731.
6. Scattolini, R. Hierarchical model predictive control [Text] / R. Scattolini // In Proceedings of the 46th IEEE Conference on Decision and Control. - New Orleans, LA, USA. – 2007. - P. 4803-4808.
7. Scattolini, R. A switched MPC approach to hierarchical control [Text] / R. Scattolini, P. Colaneri, D. De Vito // In Proceedings of the 17th IFAC World Congress. - Seoul, Korea. – 2008. - P. 7790-7795.
8. Picasso, B. Hierarchical model predictive control of Wiener models [Text] / B. Picasso, C. Romani, R. Scattolini // In Proceedings of the International Workshop on Assessment and Future Directions of Nonlinear Model Predictive Control. - Pavia, Italy, 2008. – P. 139-152.
9. Барский, Л. А. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых [Текст] / Л. А. Барский, В. З. Козин. - М.: Недра, 1978. – 486 с.
10. Тытюк, В. К. Автоматизация процессов управления с использованием объектно-ориентированного подхода [Текст] / В. К. Тытюк, И. А. Луценко, А. Ю. Михайленко // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг: Мінерал, 2009. - №24. – С. 81-85.
11. Автоматизация управления обогатительными фабриками [Текст] ; под ред. Б. Д. Кошарского, А. Я. Ситковского, А.В. Красномовца. – М.: Недра, 1977. – 527 с.
12. Тихонов, О. Н. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках [Текст]: учебн. для вузов / О. Н. Тихонов. – М.: Недра, 1985. – 272 с.
13. Андреев, С. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст] / С. А. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
14. Клушанцев, Б. В. Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации [Текст] / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземек. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с. - Библиогр.: С. 316-317. – ISBN 5-217-00870-9
15. Тытюк, В. К. Архитектура системы оптимального управления технологическими процессами с порционной подачей сырьевых продуктов [Текст] / В. К. Тытюк, И. А. Луценко, А. Ю. Михайленко // Вісник Кременчуцького державного університету ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – №5/2010 (64). – С. 24-29.
16. Линч, А. Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление [Текст] / А. Дж. Линч; пер. с англ. – М.: Недра, 1981. – 343 с.