ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

УДК 517.928.977

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПАХ РАЗГРУЗКИ

ИМАНАЛИЕВ З.К., АШИРБАЕВ Б.Ы.
КГТУ им. И.Раззакова
izvestiya@ktu.aknet.kg

В статье предложен приближенный аналитический способ построение оптимального алгоритма управления обогащением золото содержащей руды для исключения простоя бункера и выхода бункера в аварийное состояние (переполнения) и в итоге – для получения полезной руды в единицу времени.

In this article is suggested approximated the analytical method of construction optimal algorithm control dress gold concentration for exclusion delay of bunker to accident condition (overfilling) and the end – for receipt available ore to unit of time

В процессах обогащения золото содержащей руды проблемы связанные с простоем работы бункеров и выходом их в критическое состояние переполнения и в связи с этим, построения системы автоматического управления в определенной степени повышает производительности труда.

На рис.1 представлена схема перемещения руды на ленточном конвейере, после разделения которой на фракции разного размера происходит загрузка бункеров. Каждый из бункеров имеет сепаратор, причем обогащения руды напрямую зависит от скорости опорожнения бункеров [1]. В данной работе рассматривается режим оптимального управления сепаратором одного из бункеров.

Модель рассматриваемого процесса загрузки и разгрузки бункера описывается следующими уравнениями:

$$\dot{x}_1(t) = -x_2(t) + q, \qquad \mu\dot{x}_2(t) = -\frac{1}{T}x_2(t) + \frac{1}{T}u(t), \tag{1}$$

где $x_1(t)-$ общее количество руды в контейнере (загрузка в контейнере); $x_2(t,\mu)-$ разгрузка бункера (при получении полезной руды), определяющая скорость его опорожнения; q – меняющаяся и измеряемая скорость загрузки при поступлении в контейнер руды с ленточного конвейера; u(t) – управляющий сигнал по скорости разгрузки, подлежащий оптимальному выбору, при использовании сортировочной установки на «выходе» контейнера; $\mu-$ малый параметр определяющий скорость разгрузки бункера, $(0<\mu<1)$; T- фиксированная время; $t\in[0,1]$.

Критерий оптимального управления обогащением будем представлять функционалом

$$J = \max_u \int_0^T \left\{(1-bu)u + \frac{2}{b} - s\left[0{,}5 - \phi\left(\frac{-x_1 + H - q\Delta t - u\Delta t}{\sigma}\right)\right]\right\}dt = \int_0^T f_0(x_1,x_2,u)dt, \tag{2}$$

где (1-bu)u – доход полезной руды в единицу времени; s – штраф за переполнения бункера; b – заданный параметр, определяющий оптимальную скорость поступления руды на конвейер, равную $\frac{1}{2b}$, при которой сортировка руды обеспечивает максимальный доход без учета возможных потерь от переполнения бункера, а максимальная скорость его опорожнения не превышает $\frac{2}{b}$ (рис.2). $\left(0{,}5-\phi\left(\frac{-x_1+H-q\Delta t-u\mathrm{B}\Delta t}{\sigma}\right)\right)-$ вероятность переполнения бункера, $\phi-$ интеграл Лапласа; $\sigma-$ среднеквадратическое отклонение случайного процесса заполнения бункера рудой; H – заданная высота бункера; $\Delta t-$ интервал полного прохождения руды через деления на фракции и попадания ее во все бункера (интервал запаздывания).

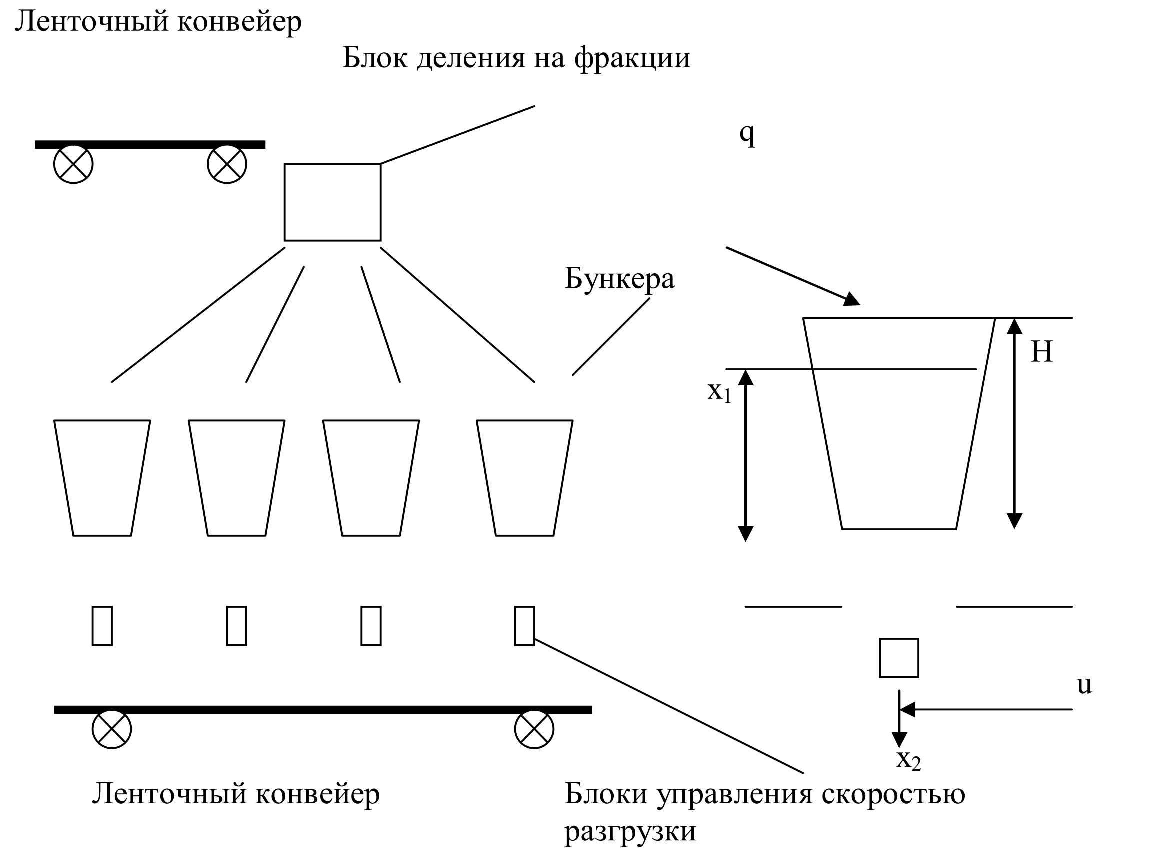

Рис.1. Схема перемещения руды на ленточном конвейере

Преобразуем подынтегральное выражение

$$(1-bu)u+\frac{2}{b}=\frac{2+bu-(bu)^2}{b}=-b\left(u^2-\frac{1}{b}+\frac{2}{b}\right)=-b\left(u-\frac{1}{2b}\right)^2-\frac{7}{4}$$

и введем обозначение $u-\dfrac{1}{2b}=v$. Нам необходимо свести вероятность переполнения бункера к нулю, поэтому считаем, что

$$0{,}5-\phi\left(\frac{-x_1+H-q\Delta t-u\Delta t}{\sigma}\right)\to 0, \qquad (3)$$

тогда функционал (2) имеет вид

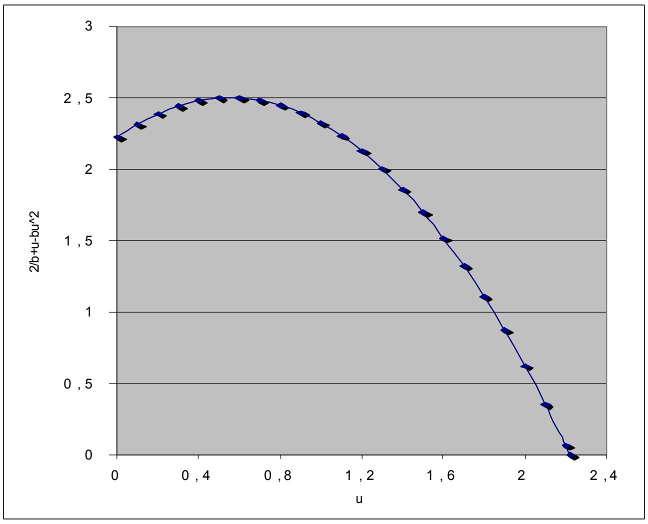

Рис.2. Скорость разгрузки бункера (b=0,9)

$$J\max_{v}\int_{0}^{T}\left[-b\left(v^{2}-\frac{7}{4b}\right)\right]dt=J\min_{v}b\int_{0}^{T}\left(v^{2}-\frac{7}{4b}\right)dt. \qquad (4)$$

Процесс загрузки и разгрузки бункера описывается системой

$$\dot{x}_1(t)=-x_2(t)+q, \qquad \mu\dot{x}_2(t)=-\frac{1}{T}x_2(t)+\frac{1}{T}\left(v(t)+\frac{1}{2b}\right). \qquad (5)$$

Начальное состояние системы (5) будем характеризовать в форме:

$$x_1(0)=0, \quad x_2(0)=m. \qquad (6)$$

Требуется перевести систему (5) в состояние

$$x_1(1)=m, \quad x_2(1)=0, \qquad (7)$$

причем так, чтобы функционал (4) принимал наименьшее возможное значение.

Построение оптимального управление

При $\mu=0$ получаем вырожденную систему

$$\dot{\bar{x}}_1=-v-1/2b+q, \qquad x_2=v+1/2b. \qquad (8)$$

Систему (5) заменим следующей системой, у которой разделены переменные состояния (загрузка и разгрузка бункера).

$$\dot{\bar{x}}_1=-v-1/2b+q, \quad (9) \qquad \mu\dot{x}_2=-1/Tx_2+1/T(v+1/2b). \quad (10)$$

Эта система аппроксимирует систему (5) с точностью $O(\mu)$ [2].

Граничные условия системы (9), (10) записывается в форме:

$$\bar{x}_1(0)=0, \quad x_2(0)=m, \quad (11) \qquad \bar{x}_1(1)=m, \quad x_2(1)=q-m. \quad (12)$$

Решения уравнения (9), (10) с начальными условиями (11) можно представить в виде:

$$\bar{x}_1(t)=-\int_{0}^{t}v(s)ds+(q-1/2b)t, \qquad (13)$$

$$x_2(t,\mu)=\exp(-t/T\mu)m+(1/T\mu)\int_{0}^{t}\exp(-(t-s)/T\mu)v(s)ds+t/(2bT\mu). \qquad (14)$$

С учетом (12) из (13) получаем соотношения:

$$\int_{0}^{1}\bar{v}(t)dt=q-m-1/2b, \qquad \bar{v}(t)=q-m-1/2b. \qquad (15)$$

Для задачи (4), (10) - (12) определим управление в форме [3]

$$v(t,\mu)=\bar{v}(t)+V(\lambda)=V(\lambda), \quad \lambda=(1-t)/\mu. \qquad (16)$$

Как показано в [2] управление, $v(t,\mu)$ имеющее минимальную норму и переводящее процесса разгрузки бункера из состояние (11) в состояние (12) определяется в виде:

$$\int_{0}^{1/\mu}\exp((-1/T)\lambda)(1/T)V(\lambda)d\lambda=\alpha, \qquad \int_{0}^{1/\mu}V^{2}(\lambda)d\lambda\to\min, \qquad (17)$$

где

$$\alpha=q-m-\exp(-1/T\mu)m-1/T\mu(q-m-1/2b)-1/(2bT\mu). \qquad (18)$$

Решение задачи (17), (18) записывается в форме [2]

$$V\left(\frac{1-t}{\mu}\right)=\frac{2T\mu\alpha\exp((-(1-t)/T\mu)}{\exp(-2/T\mu))-1}. \qquad (19)$$

Оптимальные траектории процесса загрузки и разгрузки бункера определяются соотношениями:

$$\bar{x}_1(t)=q-m-1/2b+(q-1/2b)t, \qquad (20)$$

$$x_2(t,\mu)=\exp(-t/T\mu))m+(t/T\mu)(q-m-1/2b)+t/(2bT\mu)-$$

$$-\frac{\alpha \exp(-(t+1)/T\mu)(\exp(2t/T\mu)-1)}{\exp(-2/T\mu)-1}. \qquad (21)$$

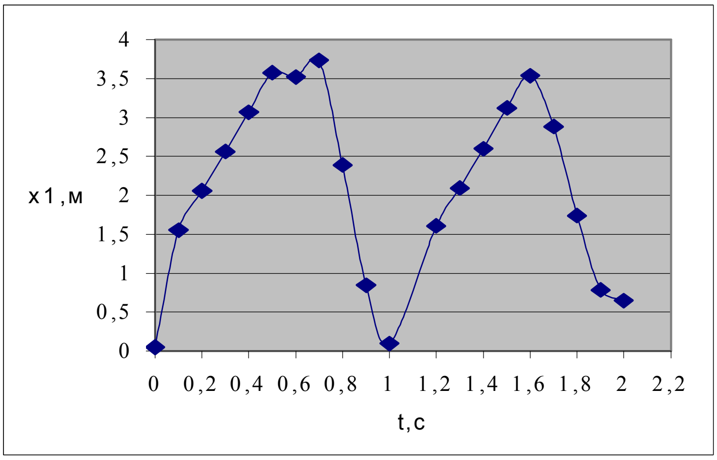

Рис.3. Количество x_1 руды в бункере

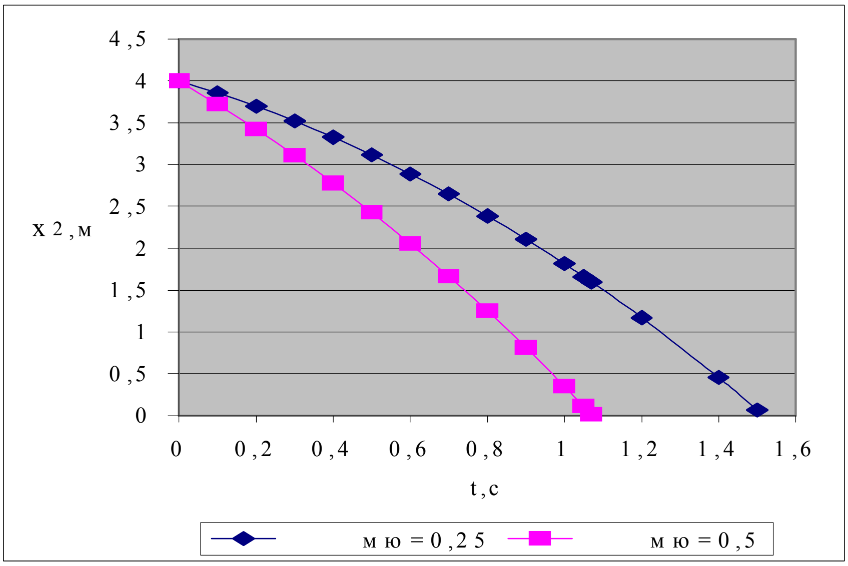

Рис.4. Количество $x_2(t,\mu)$ руды в бункере при разных темпах разгрузки

Функции $\bar{x}_1(t)$ и $x_2(t,\mu)$ (20), (21) удовлетворяет граничным условиям (11), (12).

Моделирование процесса сепарации дало следующие результаты. На рис.3, 4 показаны процессы заполнения бункера и разгрузки руды из бункера при b=0,9 и H=4 м. Из рис.3 видно, что как только количество руды превышает допустимый уровень, равный H=3,5 м (в момент t=0,7c), управление переключается на максимальный режим опорожнения равный 2/b, далее цикл повторяется, а в процессе разгрузки руды параметр μ влияет на скорости опорожнения бункера т.е чем меньше параметр μ тем быстрее идет процесс разгрузки руды в бункере.

(T=1, m=4, q=3, b=0,9 $\mu = 0{,}25$; $\mu = 0{,}5$)

Литература

1. Лебедев Г.Н., Щеткин С.А. Разработка оптимального управления процессом обогащения руды при ее сортировке //Мехатроника, автоматизация, управления, №7, 2008. С. 34 – 37.
2. Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы., Баракова Ж.Т. Разделение движений в управляемых системах с сингулярными возмущениями //Известия КГТУ им.И.Раззакова. – Бишкек, 2006, №8. С .79 – 84.
3. Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы. Управление с минимальной энергией в сингулярно-возмущенной системе с постоянными коэффициентами //Вестник Казахского Национального университета им. аль-Фараби. – Алматы, 2005, №3 (46). С. 9 – 15.