

Таким чином, дана система є гнучкою у вирішенні питань організації й управління гірничо-підготовчими роботами, яка дозволяє з достатньою точністю перерозподіляти допоміжні вантажопотоки для забезпечення своєчасного введення в експлуатацію нових лав за мінімальних витрат на їх підготовку.

#### Список літератури

1. Козина І.В. Применение комбинированных методов управления транспортно-технологическими подсистемами угольных шахт / И.В. Козина // 13-а Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика -2006), 25 – 28 вересня 2006 р.: тези доп. – Вінниця. – С. 222.
2. Научное обоснование производительности транспортно-технологических схем и параметров шахтного транспорта высокого технического уровня: отчет о НИР / Национальный горный университет; руководитель Л.Н. Ширин – № ГР 0105U000520. – Д.: НГУ, 2006. – 126 с.
3. Автоматизация и регулирование транспортных процессов на угольных предприятиях: сб. трудов/ Тр. ин-та. М., Недра, 1983, С. 95.
4. Решения HMI/SCADA – системы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scada.com.ua/>
5. Оптимізація процесів управління допоміжними вантажопотоками вугільних шахт: Монографія / Козіна І. В. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – 96 с.
6. Козіна І.В. Обґрунтування параметрів транспортно-технологічних схем управління вантажопотоками вугільних шахт / І.В. Козіна // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 109. - С. 119-126.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.  
Надійшла до редакції 23.09.2014*

УДК 621.926

© И.В. Новицкий, Ю.А. Шевченко

### **АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

Запропонована та досліджена адаптивна система управління завантаженням барабаних млинів самоподріблення. Виконан аналіз особливостей роботи та налаштування цієї системи.

Предложена и исследована адаптивная система управления загрузкой барабанных мельниц самоизмельчения. Выполнен анализ особенностей работы и настройки этой системы.

Proposed and investigated adaptive load control tumbling mills. Analyzed the operation and configuration features of the system.

**Актуальность и суть проблемы исследований.** Технологическая эффективность процессов самоизмельчения руд перед обогащением во многом определяется качеством управления степенью заполнения мельницы измельчаемым материалом.

Поэтому практически всегда в составе технологической линии рудоподготовки перед обогащением присутствует система управления степенью заполнения мельницы (рис.1).

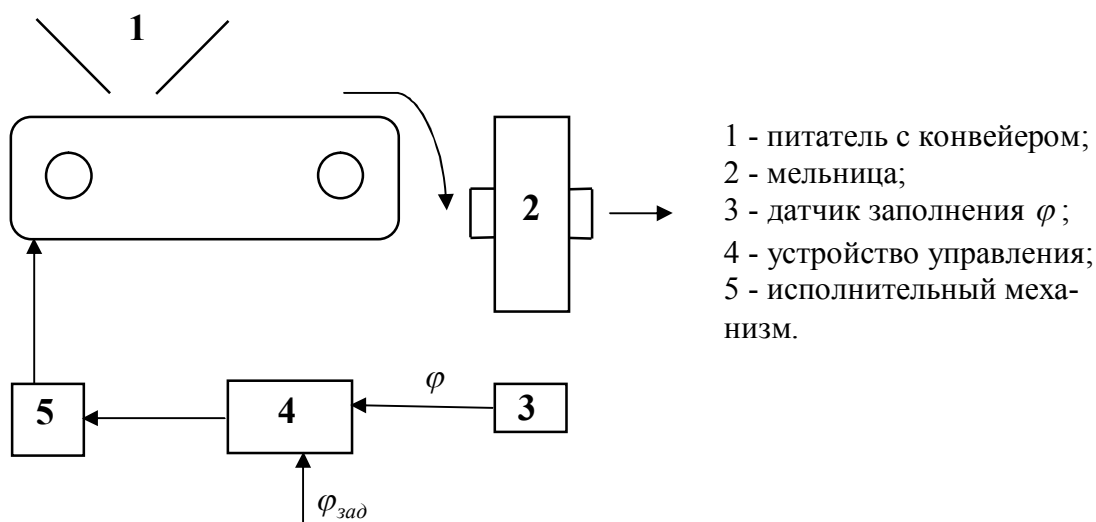


Рис. 1. Функциональная схема системы управления степенью заполнения мельницы

Такие системы управления обычно стабилизируют степень заполнения мельницы  $\varphi$  на уровне задания  $\varphi_{зад}$  путем изменения через исполнительный механизм 5 режима работы питателя 1.

Одним из основных факторов, определяющих практическую эффективность таких систем управления, является точность оперативной оценки степени заполнения мельниц  $\varphi$ .

**Изложение основного материала.** Мельницу самоизмельчения с питателем представим как инерционное звено второго порядка [1], а в устройстве управления реализуем типовой ПИД – закон регулирования. Тогда структурная схема основного контура системы будет соответствовать рис. 2а:

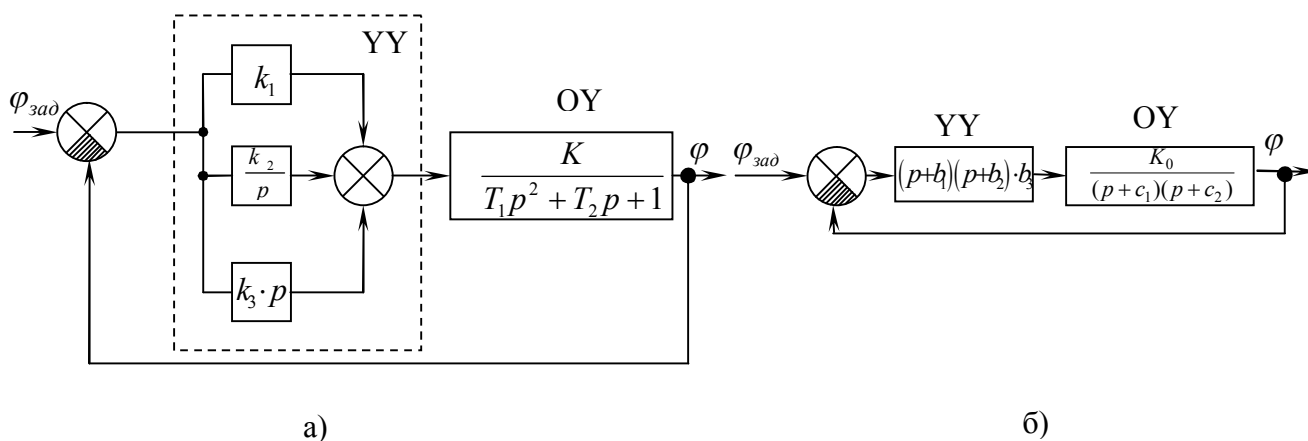


Рис. 2. Структурные схемы основного контура управления системы

Как следует из практики, переходные процессы в объекте управления при регулировании заполнения не имеют колебательного характера. Значит корни

характеристического уравнения модели объекта – действительные и его передаточная функция имеет вид:

$$W_{oy}(p) = \frac{K_0}{(p + c_1)(p + c_2)}$$

Передаточную функцию ПИД - регулятора представим так:

$$W_{рег}(p) = \frac{(p + b_1)(p + b_2)b_3}{p}$$

Тогда структурная схема основного контура будет соответствовать рис. 2б.

Расчет параметров регулятора с целью получения желаемых переходных процессов в основном контуре не вызывает трудностей. Однако, задача существенно усложняется, поскольку объект управления является нестационарным. Так, при неизменной структуре модели объекта его параметры -  $K_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  меняются в широком диапазоне. Параметрическая нестационарность модели объекта обусловлена в основном изменением свойств измельчаемого материала. Как следует из литературы [2], время спада автокорреляционной функции основных физико-механических характеристик руды составляет несколько часов, что значительно больше постоянных времени объекта -  $T_1$  и  $T_2$ , значения которых составляют обычно несколько минут. Таким образом, для данного случая выполняется условие квазистационарности объекта и целесообразно применение адаптивной самонастраивающейся системы управления [3].

Предположим, что в основном контуре (рис. 2б):

$$b_1 = c_1 \tag{1}$$

$$b_2 = c_2$$

При выполнении (1) последовательно соединенные регулятор и объект будут иметь передаточную функцию:

$$W_{сист}(p) = \frac{b_3 K_0}{p},$$

а передаточная функция основного контура по каналу « $\varphi_{зад} - \varphi$ » будет иметь свойства апериодического звена с постоянной времени  $\frac{1}{b_3 K_0}$ , которая должна

быть равна желаемой  $T_{жел} = \frac{1}{\alpha}$ :

$$W_{жел}(p) = \frac{b_3 K_0}{p + b_3 K_0}.$$

Значит, целью самонастройки адаптивной системы, является поддержание равенств:

$$\begin{aligned}
 b_1 &= c_1 \\
 b_2 &= c_2 \\
 b_3 K_0 &= \alpha
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Укрупненная структурная схема адаптивной системы изображена на рис.3.

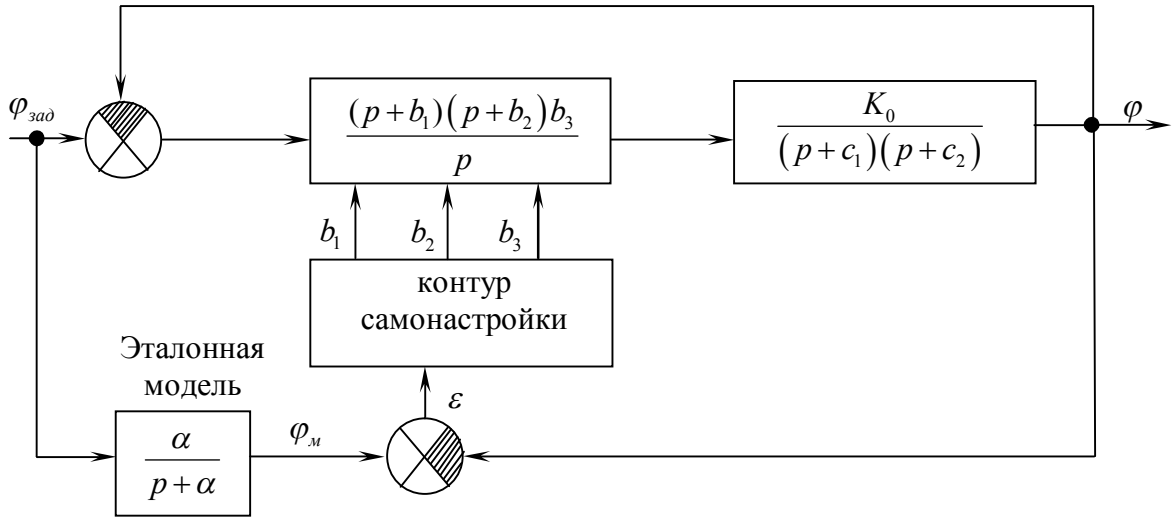


Рис. 3. Укрупненная структурная схема адаптивной СНС

Настройка параметров регулятора  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  производится на основе сравнения желаемого  $\varphi_m(t)$  и действительного  $\varphi(t)$  процессов изменения степени заполнения мельницы. Критерий самонастройки выбираем в виде квадрата ошибки:

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon^2 = \frac{1}{2} (\varphi_i - \varphi)^2
 \tag{3}$$

Детализация структуры контура самонастройки выполняется на основе метода вспомогательных операторов [3]. Настройка параметров регулятора производится по закону:

$$\frac{db_i}{dt} = -\gamma \frac{\partial I}{\partial b_i} \quad i = \overline{1,3}
 \tag{4}$$

Здесь  $\gamma_i$  - коэффициент, определяющий скорость настройки и влияющий на устойчивость адаптивной системы. Преобразуем (4) с учетом (3):

$$\frac{db_i}{dt} = -\gamma_i \frac{\partial I}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial b_i} = -\gamma_i \cdot \varepsilon \frac{\partial (\varphi_i - \varphi)}{\partial b_i} \quad i = \overline{1,3}
 \tag{5}$$

В (5)  $\varphi_i$  не зависит от параметров регулятора  $b_i$ , а  $\varphi = \Phi(p)$  - передаточная функция замкнутого основного контура. Тогда:

$$\frac{db_i}{dt} = -\gamma_i \varepsilon \frac{\partial \Phi(\sigma)}{\partial b_i} \varphi_{зад} \quad i = \overline{1,3} \quad (6)$$

Основная задача состоит в определении функцией чувствительности  $\frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_i}$ . Отметим, что  $\Phi(p) = \frac{\alpha}{p+\alpha}$  только когда выполняются условия (2), т.е. когда система настроена. В общем случае, когда условие (2) не выполняется:

$$\begin{aligned} \Phi(p) &= \frac{k_0 b_3 (p+b_1)(p+b_2)}{p(p+c_1)(p+c_2) + k_0 b_3 (p+b_1)(p+b_2)} \\ \frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_1} &= \frac{k_0 b_3 (p+b_2)(p+c_1)(p+c_2) \cdot p}{[p(p+c_1)(p+c_2) + k_0 b_3 (p+b_1)(p+b_2)]^2} \\ \frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_2} &= \frac{k_0 b_3 (p+b_1)(p+c_1)(p+c_2) \cdot p}{[p(p+c_1)(p+c_2) + k_0 b_3 (p+b_1)(p+b_2)]^2} \\ \frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_3} &= \frac{k_0 (p+b_1)(p+b_2)(p+c_1)(p+c_2)p}{[p(p+c_1)(p+c_2) + k_0 b_3 (p+b_1)(p+b_2)]^2} \end{aligned}$$

При выполнении (2) функции чувствительности равны:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_1} &= \frac{p\alpha}{(p+b_1)(p+\alpha)^2} \\ \frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_2} &= \frac{p\alpha}{(p+b_2)(p+\alpha)^2} \\ \frac{\partial \Phi(p)}{\partial b_3} &= \frac{p\alpha}{b_3(p+\alpha)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом (6) и выражений для частных производных (7) окончательно получим законы настройки параметров регулятора:

$$\begin{aligned} \frac{db_1}{dt} &= \gamma_1 \varepsilon \frac{p\alpha}{(p+b_1)(p+\alpha)^2} \cdot \varphi_{зад} \\ \frac{db_2}{dt} &= \gamma_2 \varepsilon \frac{p\alpha}{(p+b_2)(p+\alpha)^2} \cdot \varphi_{зад} \\ \frac{db_3}{dt} &= \gamma_3 \varepsilon \frac{p\alpha}{b_3(p+\alpha)^2} \cdot \varphi_{зад} \end{aligned} \quad (8)$$

Выражения (8) определяют структуру контура самонастройки, и, следовательно, структурную схему всей адаптивной системы (рис.4)

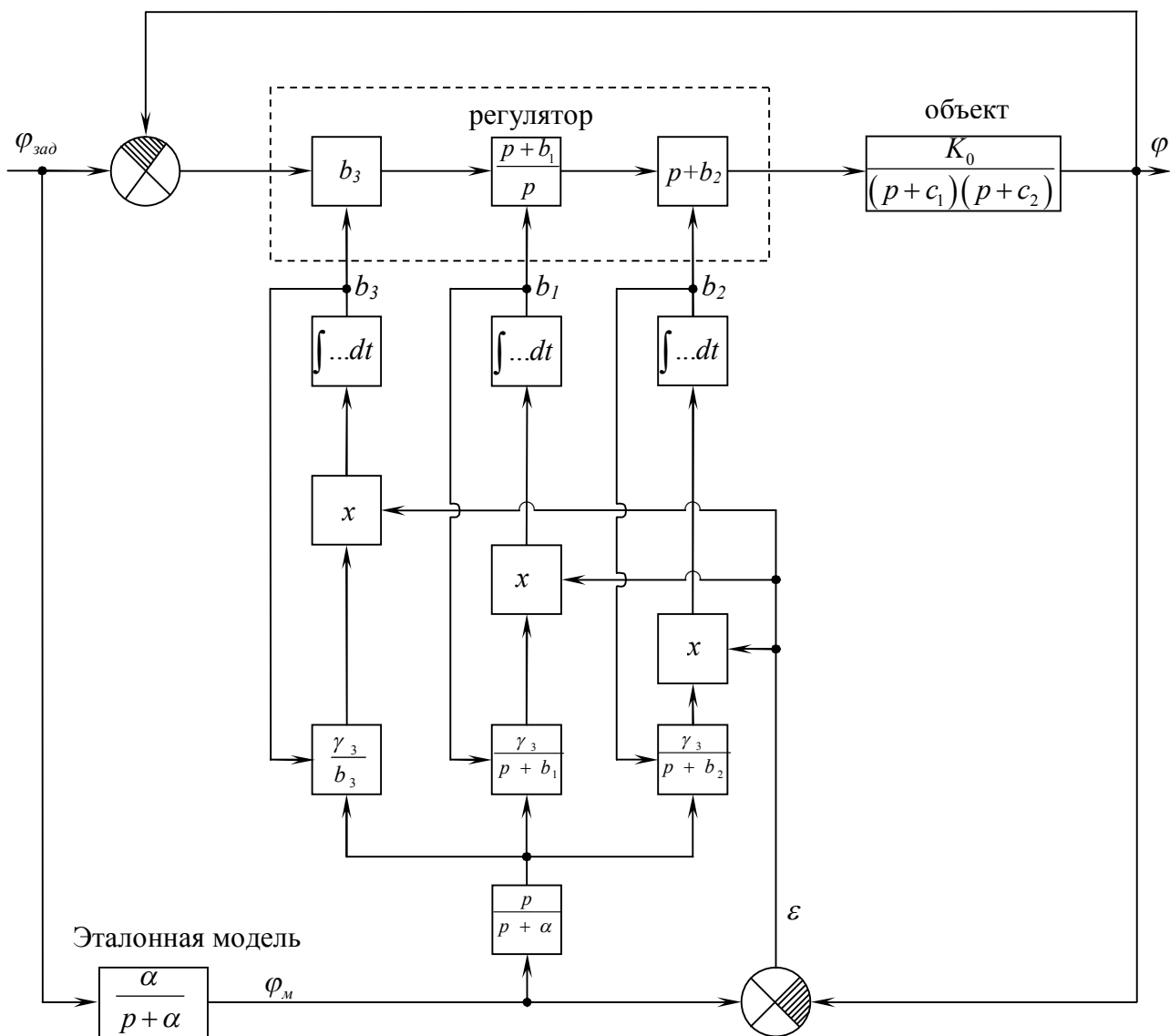


Рис. 4. Структурная схема адаптивной системы управления  
заполнением мельницы

Расчет процессов настройки параметров регулятора  $b_1$   $b_2$   $b_3$  при изменении параметров объекта управления  $C_1$   $C_2$   $K_0$  был выполнен численным методом  $\Delta t$ . Изменение параметров объекта осуществлялось в диапазоне  $\pm 20\%$  от номинальных значений, что соответствует реальным данным.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** В результате анализа особенностей работы системы было установлено следующее:

1. Существуют оптимальные значения коэффициентов  $\gamma_1$   $\gamma_2$   $\gamma_3$  определяющих скорость настройки системы, при которых время настройки минимально, а перерегулирование - не более заданного.

2. При оптимальных значениях  $\gamma_1$   $\gamma_2$   $\gamma_3$  даже в наиболее тяжелых условиях (одновременное мгновенное изменение всех трех параметров объекта управления на максимальную величину) данная система (рис.4) обеспечивает время

настройки не более 300м, что свидетельствует о практической целесообразности и эффективности применения данного подхода для регулирования степени заполнения мельниц.

#### Список литературы

1. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик [Текст] : Учебник для вузов. М., Недра, 1983.-277с.
2. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях [Текст] : Справочное пособие / Под ред. В.С. Виноградова. - М., Недра, 1984-167с.
3. Солодовников В.В., Шрамко Л.С. Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонными моделями. М., Машиностроение, 1972.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 05.06.2014*

УДК 681.5.015

© В.Л. Соседка, Р.А. Мазур

### **ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Z-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Рассмотрена прямая задача: по известным передаточным функциям определены переходные функции. Показано как на базе этого алгоритма с помощью принципиально не сложных арифметических вычислений решается обратная задача - получение передаточной функции объекта по известным ординатам его переходной характеристики.

Розглянуто пряму задачу: за відомими передавальними функціями знайдено перехідні характеристики. Показано як ґрунтуючись на цій алгоритм за допомогою арифметичних обчислювань, що не є принципово складні, вирішується зворотна задача – отримання передавальної функції об'єкту за відомими ординатами його перехідної характеристики.

The direct task is examined. The transition functions are found on the basis of the known transfer functions. The inverse problem is solved on the basis of the fundamentally simple arithmetic calculations. The technique of the transfer function calculation by the known ordinates of the transient response is grounded.

Набор в поисковой системе Google фразы «параметрическая идентификация» возвращает более 65 тыс. результатов. Но, несмотря на большое количество посвященных параметрической идентификации работ, до сих пор актуальна основная проблема идентификации – «построение хорошей и надежной модели ценой посильных трудозатрат» [1]. Под трудозатратами в [1] понимаются ресурсы, необходимые для выполнения четырех основных этапов: планирование эксперимента, выбор модели, выбор критерия (метода) идентификации, оценка степени достоверности полученной модели.

Рассмотрим основные этапы идентификации применительно к линейному стационарному объекту. Под планированием эксперимента понимается выбор