

**В.Н. Анисимов,**

**Л.И. Мещеряков, канд. техн. наук**

*(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

## **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОТСАДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Работа любой системы регулирования или управления оценивается по тому, как ею выполняются требуемые функции. Оценку работы системы, как правило, осуществляют по значениям соответствующих показателей качества, которые являются общепринятыми в теории автоматического регулирования. В основном, на показатели качества значительно влияют помехи. Что касается систем управления технологическим процессом обогащения, то в качестве главной оценки ее работы является реализация критерия управления. Как правило, это количество и качество полезного продукта и отходов.

В том случае, когда объект управления заменяется, то есть представлен формализовано, в виде математической базы, то есть совокупностью взаимосвязанных математических модулей или целостным выражением, оценка показателей качества требует особого подхода.

В разработанной системе управления технологическим процессом обогащения неперенным условием явилось то, что ее построение осуществлено в зависимости от характеристик обогащаемого материала, с учетом режимных и конструктивных параметров выделенного объекта. Математической моделью имитируется процесс обогащения с получением требуемых значений критерия управления, а значения параметров, которые удовлетворяют требованию относительно критерия, отрабатываются локальными системами регулирования.

Поэтому в данном случае существует взаимосвязь помех, относящихся к входным характеристикам обогащаемого сырья, адекватности математической модели и помех, относящихся к локальным системам регулирования.

Для таких систем практически все помехи являются случайными величинами (функциями). При управлении технологическим процессом система, как правило, имеет обратную связь относительно качества и количества отходов или концентрата. В обратной связи случайным сигналом является значения зольности породы с учетом погрешности измерительного прибора. Реализация сигналов показана на рис. 1. По виду реализаций сигнал является белым шумом. Для исследования шума использован генератор белого шума, структура которого показана на рис. 2.

Генератор "Г<sub>бш</sub>" реализует стационарный случайный процесс с равномерным законом распределения и некоррелированными значениями уровней. Преобразование случайного сигнала с "Г<sub>бш</sub>" в случайный сигнал с заданным законом распределения (функциональный блок "П") выполнен с помощью ЭВМ.

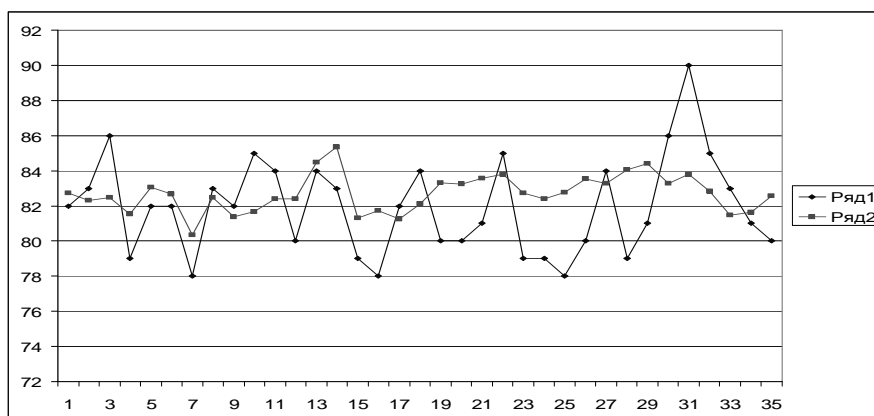


Рис. 1. Зольность породы на выходе объекта управления, получаемая с золомера (1) и путем сжигания (2)

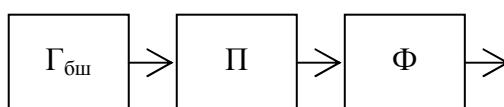


Рис. 2. Структурная схема для получения цветного шума:  
 $\Gamma_{бш}$  – генератор шума; П – преобразователь; Ф – формирующий фильтр

Для формирования зависимых случайных процессов с заданной автокорреляционной функцией из стационарного случайного процесса с некоррелированными значениями предназначен формирующий фильтр "Ф".

Количество интервалов  $n_{zp}$  определено по формуле Стерджеса:

$$n_{zp} = 1 + 3,322Lg(n). \quad (1)$$

Результаты обработки случайной реализации представлены на гистограмме (рис. 3).

По виду гистограммы очевидно, что закон распределения предпочтительнее описать зависимостью:

$$f(x) = \frac{x^2}{Ax^2 + Bx + C}. \quad (2)$$

Добавляя линию тренда к полученной гистограмме получим функцию (закон распределения):

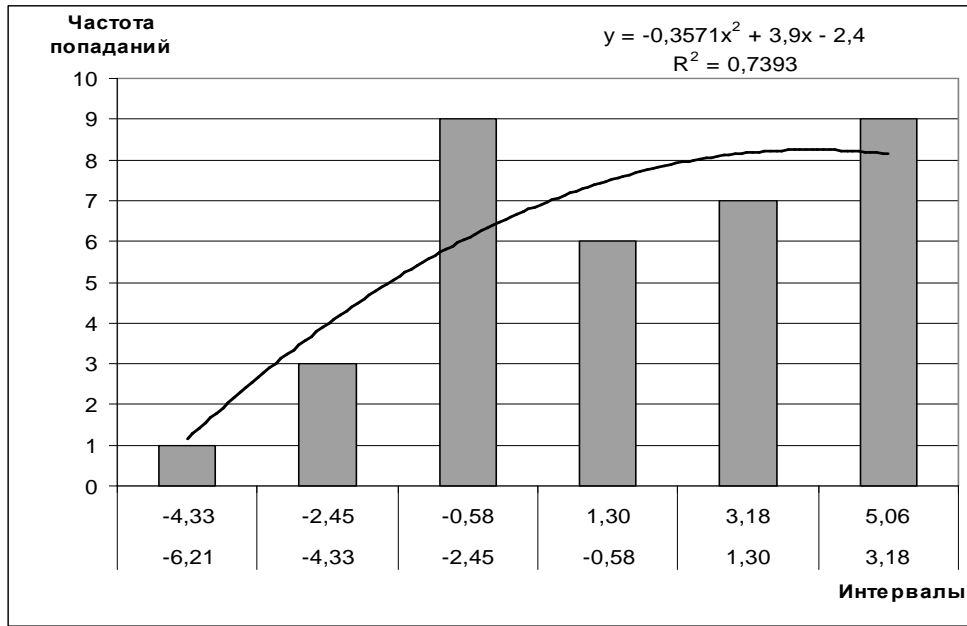


Рис. 3. Гистограмма попадания значений в заданные интервалы

$$f(x) = \frac{x^2}{-0,3571x^2 + 3,9x - 2,4}. \quad (3)$$

Формирующий фильтр синтезирован с помощью скользящего суммирования реализуемого выражением

$$y(t) = \sum_{j=0}^n a_j x_{(t-j)}, \quad (4)$$

Определение параметров дискретного формирующего фильтра осуществляется путем нахождения коэффициентов  $a_0, a_1, \dots, a_n$ .

Автокорреляционная функция случайной последовательности определена следующим образом:

$$R_y(n) = \sum a_i a_{i-m}; \quad (5)$$

$$i = 0, 1, \dots, n;$$

$$m = 0, 1, \dots, n - 1,$$

где  $n$  – количество реализаций;  $m$  – зависит от вида автокорреляционной характеристики.

Из (5) находим коэффициенты  $a_1 = 0,118$ ,  $a_2 = 0,3$ ,  $a_3 = 0,946$ ,  $a_4 = 0,008$ , подставляя в (4), получим

$$y(t) = 0,118x_{(4+t)} + 0,3x_{(3+t)} + 0,946x_{(2+t)} + 0,008x_{(1+t)} \quad (6)$$

Для имитации шума с требуемым законом распределения и требуемой автокорреляционной функцией на основании уравнений (3) и (6) в пакете MatLab синтезирована структурная схема, которая показана на рис. 4.

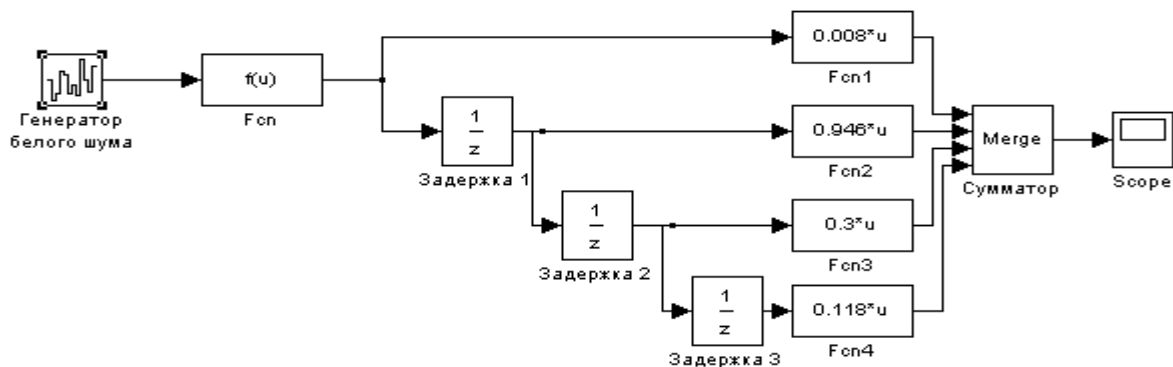


Рис. 4. Структурная схема генератора шума

В структурной схеме: блок "f(u)" – содержит заданный закон распределения (5); блоки "задержка 1,2,3", осуществляют задержку поступающих сигналов последовательно на 1 такт.

По данной реализации определено отношение интенсивности шума к интенсивности полезного сигнала, а также определен доверительный интервал для значений зольности породы.

С вероятностью 95%, доверительный интервал имеет границы:

- нижняя – 4,628,
- верхняя – 6,238.

В соответствии с полученным доверительным интервалом интенсивность шума (ошибка измерения) составляет  $A_{ш}^d \approx 10,85 \%$ .

Среднее значение реальной зольности, полученной методом сжигания, за весь промежуток измерения  $\overline{A_p^d} = \sum_{i=1}^n A_{pi}^d / n = 82,696 \%$ , где:  $A_{pi}^d$  – текущие значения реальной зольности,  $n$  – количество значений = 35.

Для расчета фильтра Калмана в пакете MatLab вычислены нормированные коэффициенты интенсивности полезного сигнала –  $k_{nc} = 1$  и шума

$$k_{ш} = \frac{A_{ш}^d}{A_p^d} = \frac{10,85}{82,696} = 0,1312. \quad (7)$$

Согласно (7) интенсивность шума составляет порядка 13 % от полезного сигнала с вероятностью 95%. Уровень шума (ошибки измерения) можно снизить путем применения золомеров с меньшим уровнем погрешности.

При разработке системы управления технологическим процессом с применением отсадки необходимо учитывать, что объект является многомерным, стохастическим, обладающий некоторыми динамическими характеристиками, поэтому в систему управления необходимо ввести обратную связь по контролю зольности породы. Выбор данного параметра обусловлен таким образом, чтобы в процессе обогащения исключить потери горючей массы. В зависимости от требований к получаемым продуктам обогащения обратная связь может осуще-

ствляться по качеству концентрата (зольности). Наличие обратной связи в системе управления предполагает внесение изменений в процесс управления. С этой целью выполнена работа по расчету инерционности, управляемости и наблюдаемости и устойчивости объекта управления с рассчитанным регулятором в обратной связи.

Поскольку при работе на объект управления влияет целый ряд факторов, каждый из которых приводит к изменению качества получаемых продуктов обогащения, достичь требуемой точности при синтезе переходной характеристики объекта достаточно сложно.

Для контроля зольности породы можно использовать золотер типа РКЗ, разработчики Э.Г. Невоиса, В.И. Глузман (ПК "Меридиан" г. Днепропетровск).

Управление технологическим процессом включает в себя множество входных и выходных данных. Для управления режимными параметрами объекта управления одним из основных управляющих факторов является плотность разделения в ОМ. Можно представить отсадочную машину по каналу плотность разделения – зольность породы, согласно кривой разгона в виде апериодического звена второго порядка

$$W_{OM}(p) = \frac{0,255}{p^2 + 0,181p + 0,0073}. \quad (8)$$

Для получения переходной характеристики воспользуемся Control System Toolbox пакета MatLab.

Переходная функция при ступенчатом входном воздействии со значениями изменившейся зольности на 35%, времени переходного процесса – 76 с, времени нарастания сигнала – 42,8 с (от 10 до 90% амплитуды), показана на рис. 4.

Для корректировки объекта управления по наилучшему быстродействию необходимо синтезировать линейный квадратичный Гаусовый (ЛКГ) оптимальный регулятор включенный в обратную связь, включающий в себя фильтр Калмана.

Задача сводится к нахождению такого управляющего воздействия:  $U = U(Y)$ , чтобы критерий оптимальности стремился к минимуму:

$$J = \int_0^{\infty} \left( \frac{Y^2(t)}{Y_{\max}^2} + \frac{U^2(t)}{U_{\max}^2} \right) dt; \quad \rightarrow \min, \quad (9)$$

где  $Y$  – определяет разницу между полученной зольностью и заданной,  $Y_{\max} = \max_{t \in [0, \infty)} Y(t)$ ,  $U_{\max} = \max_{t \in [0, \infty)} U(t)$ ,  $U$  – управляющее воздействие.

Параметр  $Y$  – зольность породы, может изменяться в пределах 4 – 95 %,

обозначим  $Y_{\max} = 95\%$ , управляющее воздействие  $U$  – в данном случае это плотность разделения, для отсадочной машины типа ОМ-24 может изменяться в пределах  $1000 - 1800 \text{ кг/м}^3$ , обозначим  $U_{\max} = 1800 \text{ кг/м}^3$ .

В численном виде (9) имеет вид:

$$J = \int_0^{\infty} (Y^2(t) + 0,053U^2(t)) dt; \rightarrow \min.$$

Расчет ЛКГ регулятора осуществлен в Control System Toolbox.

Передаточная функция оптимального ЛКГ регулятора в результате вычислений следующая

$$W_{\text{лкг}}(p) = \frac{0,2515p + 0,05534}{p^2 + 0,9277p + 0,4212},$$

для замкнутой системы

$$W_{\text{зс}}(p) = \frac{0,255p^2 + 0,2366p + 0,107}{p^4 + 1,109p^3 + 0,5964p^2 + 0,1471p + 0,107}.$$

Структурная схема синтезированной замкнутой системы управления с оптимальным ЛКГ регулятором в тулбоксе Simulink показана на рис. 6.

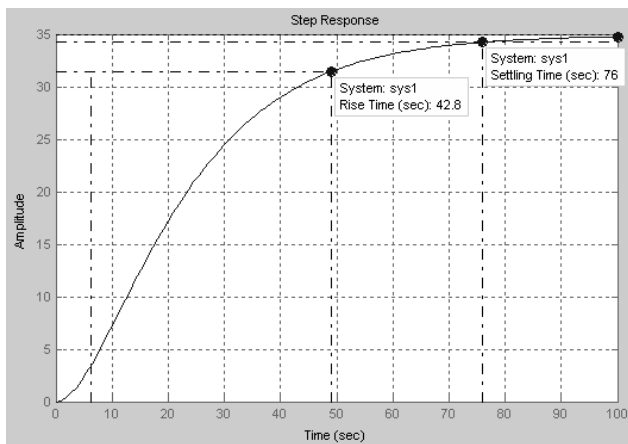


Рис. 5. Переходная характеристика разомкнутой системы

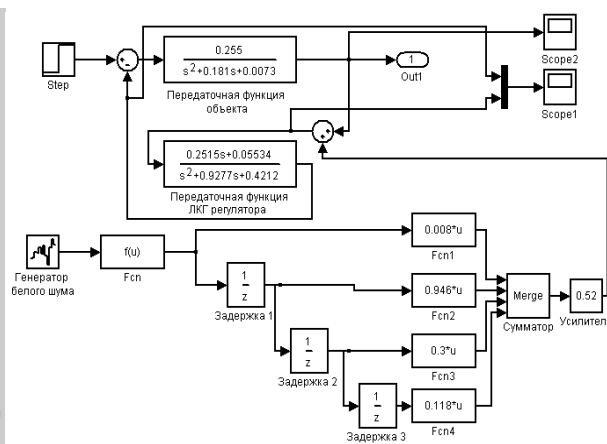


Рис. 6. Структурная схема замкнутой системы с оптимальным ЛКГ регулятором в тулбоксе Simulink

Переходная характеристика замкнутой системы с оптимальным ЛКГ регулятором при единичном входном воздействии представлена на рис. 7. Как видно из характеристики, замкнутая система является устойчивой.

### Выводы

В статье представлен процесс синтеза локальной системы регулирования по каналу плотность разделения – зольность породы.

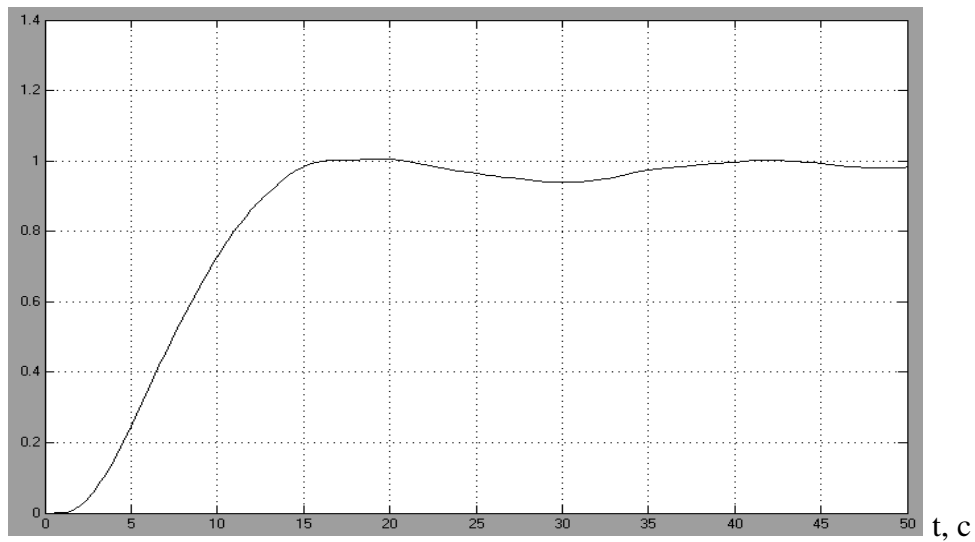


Рис. 7. Переходная характеристика замкнутой системы с оптимальным ЛКГ регулятором при единичном входном воздействии

Поскольку технологический процесс отсадки является сложным и многофакторным, можно синтезировать аналогичные локальные системы управления по другим каналам. Так, для стабилизации высоты постели на разделительной решетке ОМ, можно синтезировать локальную систему по каналу высота постели – обороты ротора разгрузочного устройства по породе.