

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Рябушко А. В.,

Харьковский государственный технический университет  
строительства и архитектуры

В последние годы широкое распространение находит новый тип измельчительных агрегатов – барабанно-валковые измельчители (БВИ), используемые, в частности, при производстве извести или цемента. БВИ обладают рядом преимуществ перед другими типами измельчительного оборудования, что требует глубокого научного осмысления происходящих в них процессах.

Стремление ко все большей адекватности рассмотрения процессов измельчения материалов в барабанно-валковых измельчителях ведет к их описанию как систем с распределенными параметрами, движение которых описывается широким классом уравнений математической физики.

Развитие систем управления объектами с распределенными параметрами привело к созданию структурной теории таких систем. В основе этой теории лежит идея распределенного блока, который соответствует определенному физическому процессу в сплошной среде.

С точки зрения структурной теории автоматического управления каждая задача уравнений математической физики, в частности и процессов измельчения в БВИ, соответствует некоторой «элементарной» системе или «элементарному» блоку, который однозначно описывается функцией Грина (импульсной переходной функцией) или передаточной функцией (в стационарном случае) данной задачи.

Вообще под распределенным блоком будем понимать устройство любой природы, в котором выделены вход и выход, причем на вход поступает входной распределенный сигнал, а на выходе однозначным образом появляется выходной, также распределенный сигнал, который может иметь и другую размерность.

Графически распределенный блок изображается так, как это показано на рисунке 1, где  $\omega(\xi, t)$  – входной сигнал (или просто вход),

а  $Q(x,t)$  – выходной сигнал (или просто выход), при этом  $x \in D, \xi \in D$ , где  $D$  – область определения пространственных переменных;  $t \in \Omega, \tau \in \Omega, \Omega$  – область определения временных переменных.

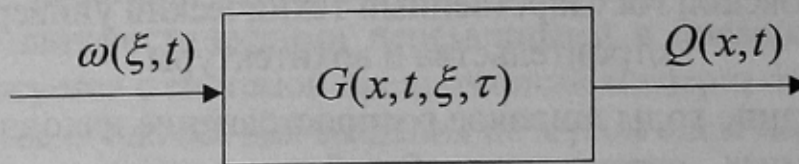


Рисунок 1 - Распределенный блок

Функция  $G(x,t,\xi,\tau)$  показывает реакцию распределенного блока в точке  $x \in D$ , в момент  $t \geq t_0$ , если на вход распределенного блока поступило единичное импульсное возмущение, приложенное в пространственной точке  $x = \xi$  в момент времени  $t = \tau$ .

При проектировании систем управления барабанными мельницами по какому-либо параметру необходимо учитывать тот факт, что процесс измельчения материала можно представить как взаимодействие систем различной природы. Так, например, при регулировании уровнем загрузки мельницы измельчаемым материалом по шуму, моделируемый процесс на «физическом уровне» можно представить в виде следующей схемы: измельчение материала – механические колебания – звуковые колебания. При описании взаимодействия таких систем в терминах структурной теории необходимо использовать блоки, описывающие характер их взаимодействия – так называемые переходные блоки.

Саму систему автоматического управления мельницей можно представить в виде двух взаимодействующих систем: распределенной и сосредоточенной. Распределенной системой является объект управления, а сосредоточенной – регулятор. То есть происходит процесс регулирования распределенной системы с помощью сосредоточенного регулятора, который измеряет состояние распределенной системы в одной или нескольких отдельных точках области определения его выходного сигнала и производит регулирующее воздействие на распределенный блок также в одной или нескольких точках области определения его входного сигнала (рис. 2).

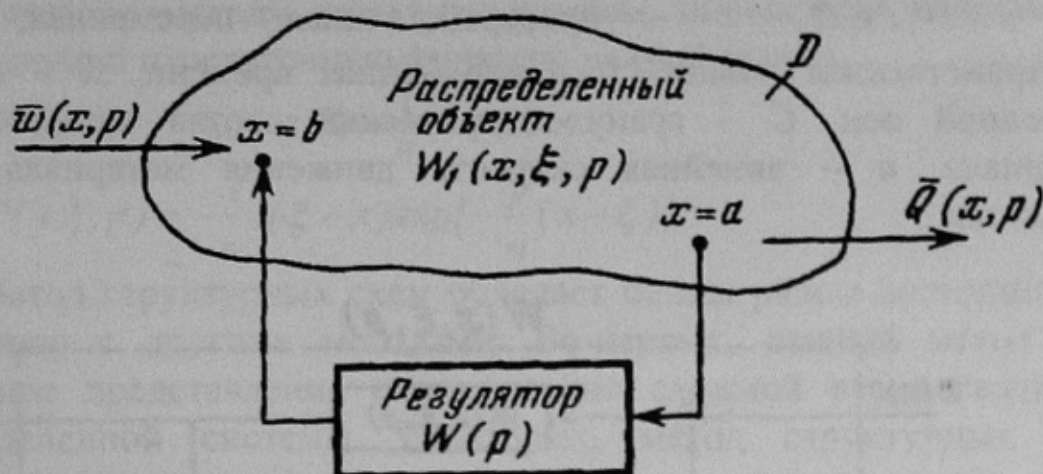


Рисунок 2 - Система автоматического управления мельницей

Пусть, например, задан распределенный сигнал (в терминах изображений)  $\bar{w}(x, p)$ , который поступает на вход некоторого блока, на выходе которого появляется сосредоточенный сигнал (не зависящий от пространственных переменных)  $\bar{Q}(p)$ . Связь между этими сигналами описывается линейным интегральным оператором следующего вида:

$$\bar{Q}(p) = \int_D W_\xi(\eta, p) \bar{w}(\eta, p) d\eta = W_\xi(\xi, p) \otimes \bar{w}(x, p).$$

Ядро этого оператора  $W_\xi(\xi, p)$  является передаточной функцией данного блока. Это ядро не зависит от выходной пространственной переменной  $x$ , а зависит лишь от входной пространственной переменной  $\xi$ . Поэтому этот переходной блок называют  $\xi$ -блоком.

В частности, с помощью  $\xi$ -блока  $W_\xi(\xi, p) = \delta(\xi - a)$  получается значение входного сигнала  $\bar{w}(x, p)$  в некоторой фиксированной точке  $x = a$  (рис. 3).

Рассмотрим сказанное на примере некоторых моделей структуры потока в барабанных мельницах.

Модель идеального вытеснения. Математически данный вид моделей структуры потоков барабанных мельниц можно представить следующим образом:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x},$$

где  $x \in D, t \in \Omega$ ,  $x$  – пространственная переменная,  $D$  – пространственная область,  $t$  – переменная времени,  $\Omega$  – область временной оси,  $C$  – гранулометрический состав измельчаемого материала,  $u$  – линейная скорость движения материала вдоль мельницы.

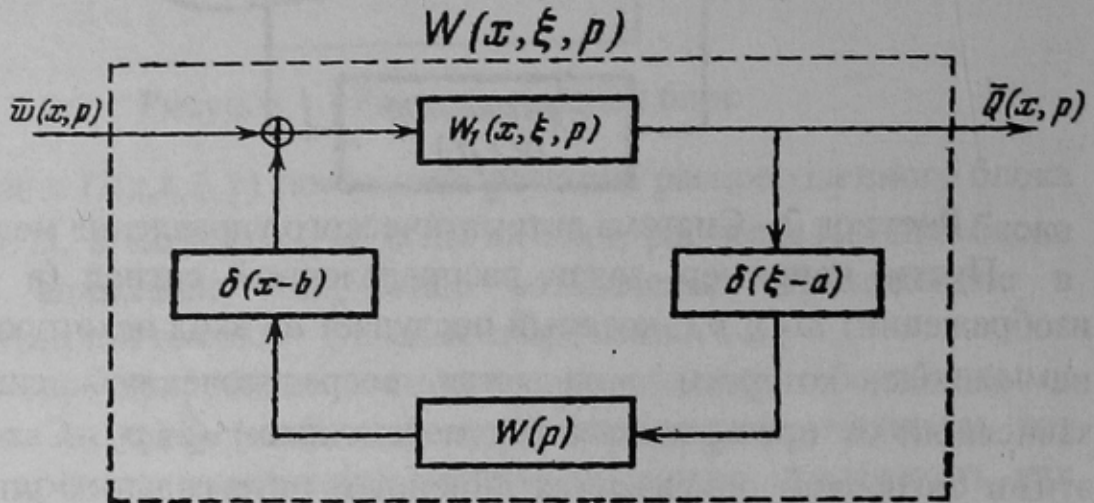


Рисунок 3 - Структурная схема ядра

Начальные и граничные условия:  $x = 0, t = 0, C_{\text{вх}} = C_{\text{вх}} \delta(t)$ .

С точки зрения метода структурных схем данный тип задач уравнений математической физики соответствует некоторому “элементарному” блоку, который однозначно описывается импульсной переходной функцией или передаточной функциями:

$$G(x, \xi, t) = -\frac{1}{u} l(\xi - x) \delta\left[t - \frac{1}{u}(x - \xi)\right];$$

$$W(x, \xi, p) = -\frac{l}{u} l(\xi - x) \exp\left[-\frac{p}{u}(x - \xi)\right].$$

Модель идеального вытеснения с застойной зоной. Математическая модель идеального вытеснения с застойной зоной имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{l}{(l-b)u} \frac{\partial C}{\partial x}.$$

Начальные и граничные условия:  $x = 0, C_{\text{вх}} = C_{\text{вх}} \delta(t)$ .

Согласно методу структурных схем, определяем импульсную переходную и передаточную функцию данной задачи.

$$G(x, \xi, t) = -\frac{1}{u} l(\xi - x) \delta\left[t - \frac{1}{u}(x - \xi)\right];$$

$$W(x, \xi, p) = -\frac{l}{u} l(\xi - x) \exp\left[-\frac{p}{u}(x - \xi)\right].$$

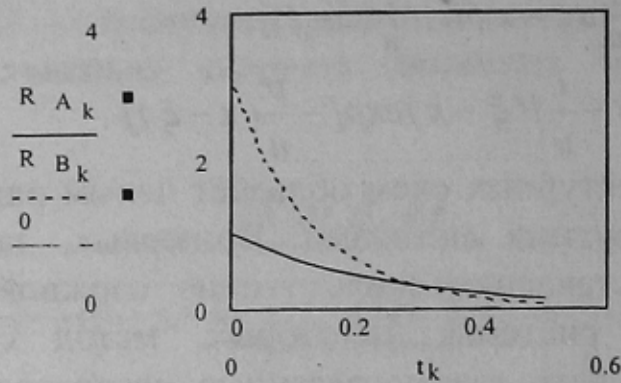
Метод структурных схем обладает целым рядом достоинств по сравнению с другими методами. Во-первых, данный метод дает наглядное представление сколь угодно сложной взаимосвязанной распределенной системы. Во-вторых, метод структурных схем позволяет описывать взаимосвязанные распределенные системы с помощью импульсных переходных и передаточных функций и правил соединения отдельных блоков. В-третьих, структурный метод дает возможность анализировать и синтезировать сложные взаимосвязанные объекты с распределенными параметрами.

Применение метода структурных схем относится к тем типам инженерных задач реализация которых невозможна без применения инструментальных средств научных вычислений – автоматизированных систем математического проектирования MathCAD, MatLab, Mathematica, Yorick, GNU Octave. Так, например, сложилось, что MatLab является своего рода стандартом представления алгоритмов в среде исследователей и разработчиков в области теории управления, обработки сигналов и не только. В состав поставки пакета входят библиотеки (Toolboxes), позволяющие решать большинство инженерных задач, связанных с обработкой сигналов, управлением и моделированием.

Применение же пакета MathCAD целесообразно на начальной стадии математического моделирования процессов измельчения, что объясняется простотой языка пакета. На рисунках 4 и 5 представлена модель кинетики измельчения в барабанной мельнице сырьевых материалов цементного производства и реализация ее с помощью пакета MathCAD.

Моделирование таких сложных, с математической точки зрения, объектов как барабанно-валковые мельницы является лишь этапом при разработке адаптивных систем управления с использованием регуляторов, приспособляющихся к возмущениям. Рассмотренные

же абстрактные распределенные системы целесообразно применять при последующей реализации задачи идентификации их параметров.



Список источников

1. Бутковский А. Г. Структурная теория распределенных систем. – М.: Наука, 1977.
2. Бутковский А. Г. Характеристики систем с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1979.

## СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗ УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОРЯДКА АСТАТИЗМА

А.И. Андреев

Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова.

Эффективным путем повышения энергетических и качественных показателей радиотехнических и телекоммуникационных систем является совершенствование силовых электронных устройств (СЭУ), которые включают усилители, формирователи, стабилизаторы и преобразователи напряжения. По функциональному назначению эти устройства существенно отличаются друг от друга, однако, с энергетической точки зрения их можно рассматривать как устройства преобразования входной энергии в энергию, необходимую для нагрузки качества [1]. Улучшение энергетических показателей СЭУ связано с дискретными (импульсными и цифровыми) методами управления силовыми полупроводниковыми приборами и (или) с применением регулируемых (следающих) источников питания [2]. Среди