

УДК 681.269

Г.М. Мутанов, Г.К. Шадрин, А.Е. Еруланова
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

СТРУКТУРА МОДЕЛИ БУНКЕРНОГО ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

В различных отраслях промышленности широко используются сыпучие материалы. Для их аккумулярования (складирования), дозирования применяются бункера и бункерные дозирующие устройства (БДУ). Такие устройства состоят из расходного бункера и питателя – дозатора. На выходе питателя или дозатора частицы подаются на транспортирующее устройство (обычно – ленточный конвейер).

Автоматические ленточные весовые дозаторы непрерывного (измерения массы) действия состоят их различного типа питателей, подающих материал; весоизмерителя, состоящего обычно из весового ленточного транспортера – грузоприемной части весов; весового механизма – чувствительного элемента объекта регулирования, непосредственно воспринимающего изменение регулируемого параметра и системы регулирования, воздействующей через исполнительные механизмы на регулирующий орган дозатора (стоящий на выходе регулятора), непосредственно поддерживающий постоянство подачи материала питателем, т.е. регулируемого параметра.

Широкое применение в практике получили дозаторы различных конструкций: ленточные, винтовые, вибрационные, тарельчатые и т.д. Принципиальная схема дозатора с ленточным питателем приведена на рис. 1. Этот дозатор состоит из ленточного питателя 2, с регулируемой производительностью, весоизмерителя 3 и автоматической системы 1, поддерживающей заданную производительность сыпучего материала. Для нормальной работы весоизмерителя важно, чтобы материал на ленте конвейера не двигался. Необходимо учесть способность сыпучего материала образовывать естественную насыпь. Для этого выпускные отверстия бункеров выполняют в виде трапеции.

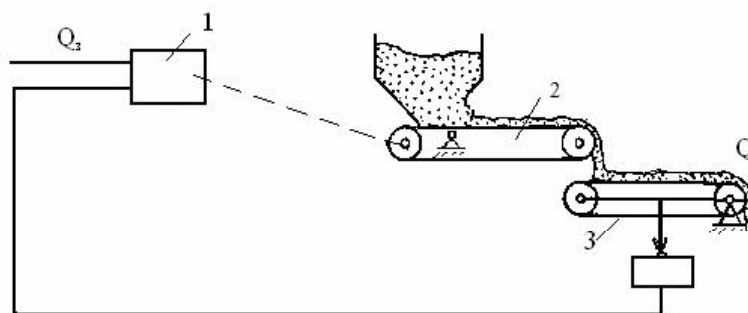


Рисунок 1 – Принципиальная схема весового автоматического дозатора

Структурная схема весового дозатора непрерывного действия (рис. 2) состоит из объекта регулирования – бункера совместно с питателем 1 и автоматического регулятора 4. Объект регулирования включает в себя: весовой ленточный конвейер 2, являющийся чувствительным элементом; усилительно-преобразующие элементы 3 – весовой механизм и датчик, преобразующие изменение массы материала на ленте конвейера в электрический сигнал или сигнал другого вида; частотный преобразователь совместно с асинхронным двигателем 5,

воздействующий на регулирующий орган дозатора для поддержания постоянства подачи материала питателем. В реальных схемах дозаторов те или иные функциональные элементы могут отсутствовать или могут быть совмещены в одном узле [1].

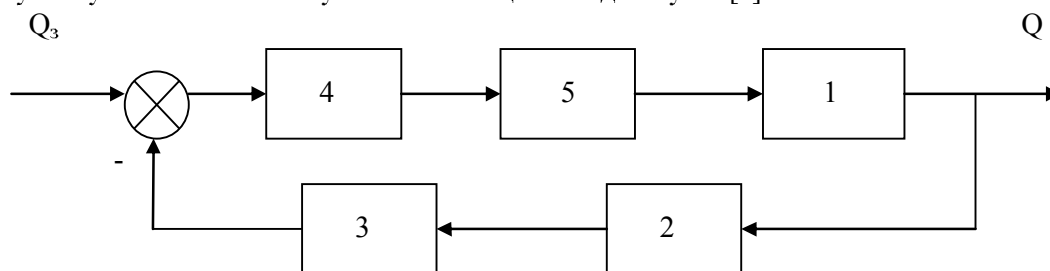


Рисунок 2 – Структурная схема весового автоматического дозатора непрерывного действия

Дозатор представляет из себя систему автоматического регулирования (САР) расхода, работающую по принципу обратной связи (рис. 2).

В этой статье частотными методами исследован объект регулирования САР расхода и найдены его динамические характеристики. Объектом регулирования является бункерный питатель, представляющий собой бункер с ленточным транспортёром, и весоизмеритель.

Для построения структурной схемы БДУ необходимо знать динамические свойства объекта регулирования. Поскольку питатель и весоизмеритель включены последовательно, то их передаточные функции перемножаются

$$W_{об}(p) = W_{пит}(p) \cdot W_{вес}(p), \quad (1)$$

где $W_{об}(p)$ - передаточная функция объекта;

$W_{пит}(p)$ - передаточная функция питателя;

$W_{вес}(p)$ - передаточная функция весоизмерителя, равная:

$$W_{вес}(p) = \frac{v}{L} \cdot \left(\frac{1 - e^{-p\tau}}{p} \right), \quad (2)$$

где $\tau = \frac{L}{v} = \frac{2\text{ м}}{0,250\text{ м/с}} = 8\text{ с}$ – транспортное запаздывание;

$\frac{v}{l} = 0,125$ – статический коэффициент передачи весоизмерителя.

Передаточная функция собственно питателя есть отношение Q (т/ч · В) расхода на выходе питателя к напряжению U , подаваемому на частотный преобразователь питателя. Передаточная функция питателя вычисляется по формуле [2]

$$W_{пит}(p) = K_{пит} = \frac{Q}{U}, \quad (3)$$

где Q – весовой расход сыпучего материала, т/ч;

U, B – входное напряжение, подаваемое на частотный преобразователь.

Весовой расход сыпучего материала Q находим следующим образом:

$$Q = v S_{мп} \rho, \quad (4)$$

где v – скорость движения транспортной ленты, м/с;

S_{mp} – площадь выпускного отверстия в виде трапеции, m^2 ;

ρ – насыпная плотность сыпучего материала, m/m^3 .

Для определения площади трапеции S_{mp} выполним вспомогательные построения рис. 3. Выпускное отверстие, имеющее вид трапеции, как было сказано ранее, обозначено на рис. 2 DEBC.

Заданы: $b=DC$ – ширина основания трапеции, a – уменьшение высоты слоя материала при выходе сыпучего материала из отверстия, зависящее от крупности частиц, $\angle 45^\circ$ – угол естественного откоса,

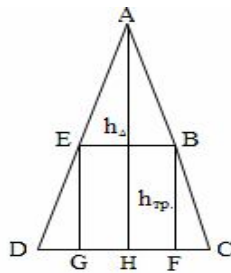


Рисунок 3 – Форма выпускного отверстия

Уменьшение высоты слоя материала можно определить по формуле

$$a = \frac{\delta_{cp.}}{2,3} = 0,87 \text{ мм}, \quad (5)$$

где $\delta_{cp.}$ – средний размер частиц, равный 2 мм.

Опыт работ показывает, что рациональная высота выпускного отверстия принимается равной

$$h_{mp} = \frac{2}{3} h_{\Delta}, \quad (6)$$

где h_{mp} – высота трапеции;

$h_{\Delta} = tg 45^\circ$, $HC = 320 \text{ мм}$ – высота $\triangle DAC$.

При слишком маленькой высоте возможно забивание выпускного отверстия крупными включениями, увеличение высоты не дает эффекта, а способствует смещению материала на ленте.

Площадь выпускного отверстия вычисляется, как площадь трапеции

$$S_{mp} = \frac{DC+EB}{2} \cdot (h_{mp} - a). \quad (7)$$

Для наиболее распространенной ширины ленты конвейера 800мм примем размер выпускного отверстия равным $DC=640 \text{ мм}$, $EB=214 \text{ мм}$.

Площадь трапеции в численном виде

$$S_{mp} = \frac{640 \text{ мм} + 214 \text{ мм}}{2} \cdot (213 \text{ мм} - 0,87 \text{ мм}) = 427 \cdot 212,13 = 90579 \text{ мм}^2 = 0,09 \text{ м}^2. \quad (8)$$

Определяем передаточную функцию питателя

$$W_{num}(p) = K_{num} = \frac{Q}{U} = \frac{v S_{mp} \rho}{U}. \quad (9)$$

Передачная функция питателя в численном виде имеет вид

$$W_{num} = \frac{0,2 \text{ м/с} \cdot 0,09 \text{ м}^2 \cdot 1,5 \text{ т/м}^3}{10 \text{ В}} = \frac{0,018 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 1,5 \text{ т/м}^3}{10 \text{ В}} =$$

$$= \frac{0,0018 \text{ м}^3/\text{с}}{\text{В}} \cdot 1,5 \text{ т/м}^3 = \frac{6,48 \text{ м}^3/\text{ч}}{\text{В}} \cdot 1,5 \text{ т/м}^3 = 9,72 \text{ т/ч} \cdot \text{В}. \quad (10)$$

Для синтеза системы управления передаточная функция весоизмерителя (2) неудобна, т.к она содержит звено чистого запаздывания $e^{-p\tau}$ и интегратор $\frac{1}{p}$. Необходимо аппроксимировать эту функцию, используя методы приближения. Наиболее очевидной является аппроксимация Тейлора порядка n . Согласно этой аппроксимации функция e^x приближенно заменяется конечной суммой

$$e^x = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!}(x-x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!}(x-x_0)^3 + \dots +$$

$$+ \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!}(x-x_0)^n + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!}(x-x_0)^n, \quad (11)$$

при $x = -p\tau$, $x_0 = 0$ получим ряд

$$f(-p\tau) = \tau - p \frac{\tau^2}{2} + p^2 \frac{\tau^3}{6} - p^3 \frac{\tau^4}{24} + \dots \quad (12)$$

Однако аппроксимация путем разложения в ряд Тейлора является полиномом от p . Такая передаточная функция физически нереализуема во временной области, т.к включает в себя дифференциаторы. Во многих случаях наиболее предпочтительна более общая аппроксимация Паде. При такой аппроксимации экспонента $e^{-p\tau}$ представляется рациональной функцией

$$e^{-p\tau} \approx \frac{F_{\mu\nu}(-p\tau)}{G_{\mu\nu}(-p\tau)} \quad (13)$$

с числителем $F_{\mu\nu}$ степени μ и знаменателем $G_{\mu\nu}$ степени ν , определяемыми формулами (14) [3].

$$F_{\mu\nu}(-p\tau) = 1 + \frac{\mu}{(\mu+\nu) \cdot 1!}(-p\tau) + \frac{\mu(\mu-1)}{(\mu+\nu)(\mu+\nu-1) \cdot 2!}(-p\tau)^2 + \dots + \frac{\mu(\mu-1)\dots 2 \cdot 1}{(\mu+\nu)(\mu+\nu-1)\dots(\nu+1) \cdot \mu!}(-p\tau)^\mu;$$

$$G_{\mu\nu}(-p\tau) = 1 - \frac{\nu}{(\mu+\nu) \cdot 1!}(-p\tau) + \frac{\nu(\nu-1)}{(\mu+\nu)(\mu+\nu-1) \cdot 2!}(-p\tau)^2 + \dots +$$

$$+ (-1)^\nu \frac{\nu(\nu-1)\dots 2 \cdot 1}{(\mu+\nu)(\mu+\nu-1)\dots(\mu+1)\nu!}(-p\tau)^\nu. \quad (14)$$

Подставляя (14) в (13) и ограничиваясь разложением Паде 2-го порядка, получаем

$$W_2(p) = e^{-p\tau} \approx \frac{p^2 - \frac{6}{\tau}p + \frac{12}{\tau^2}}{p^2 + \frac{6}{\tau}p + \frac{12}{\tau^2}}. \quad (15)$$

Тогда передаточная функция весоизмерителя (2) после подстановки в нее (15) и преобразований получается в виде

$$\begin{aligned}
 W_{\text{вс}}(p) &= \frac{1}{p} \left(1 - \frac{64p^2 - 48p + 12}{64p^2 + 48p + 12} \right) \cdot 0,125 = \frac{1}{p} \cdot \frac{64p^2 + 48p + 12 - 64p^2 + 48p - 12}{64p^2 + 48p + 12} \cdot 0,125 = \\
 &= \frac{1}{p} \cdot \frac{96p}{64p^2 + 48p + 12} \cdot 0,125 = \frac{96}{64p^2 + 48p + 12} \cdot 0,125 = \frac{24}{16p^2 + 12p + 3} \cdot 0,125 = \frac{3}{16p^2 + 12p + 3}
 \end{aligned} \quad (16)$$

Последующие исследования заключались в моделировании передаточной функции (16) и сопоставлении с исходной передаточной функцией (2). Анализ результатов показал, что значение степени два даёт хорошую аппроксимацию рис. 4.

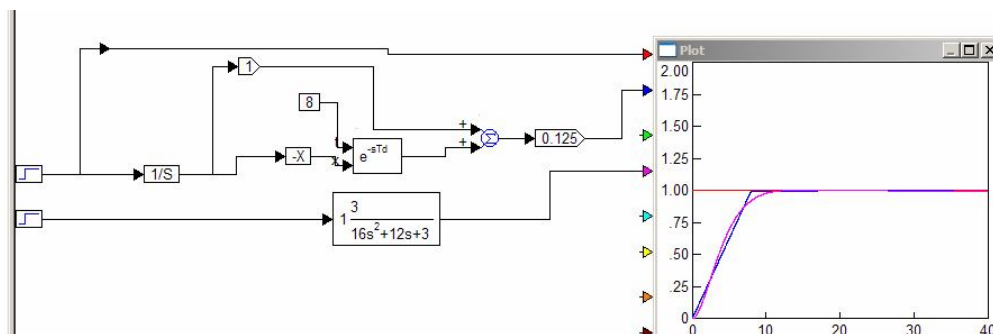


Рисунок 4 – Модель весоизмерителя

Найдем передаточную функцию объекта регулирования подстановкой выражений (16) и (10) в (1).

$$W_{\text{об.}}(p) = W_{\text{нм}}(p) \cdot W_{\text{вс}}(p) = \frac{3}{16p^2 + 12p + 3} \cdot 9,72 = \frac{29}{16p^2 + 12p + 3} = \frac{9,7}{5,33p^2 + 4p + 1} \quad (17)$$

Теперь построим структурную схему модели БДУ рис. 5.

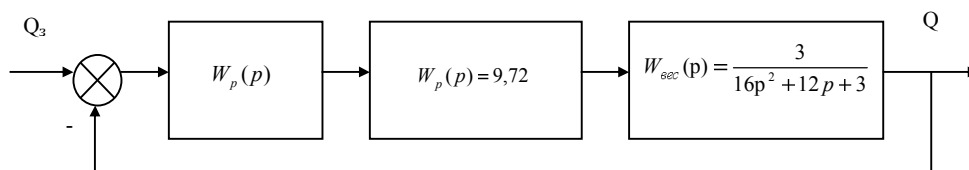


Рисунок 5 – Структурная схема модели БДУ

Список литературы

1. Каргин Е.Б. Средства автоматизации для измерения и дозирования массы. Расчет и конструирование. – 2-е изд. – М.: «Машиностроение», 1971.
2. Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов – М.: «Энергия», 1974.
3. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2009. – 475., ил.86.
4. Клиначев Н.В. Моделирование систем в программе VisSim. – 2001.

Получено 15.04.10