

В.В.Осадчий (Запорожский национальный технический университет)

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ

Приводится закон управления, учитывающий динамическую погрешность сигнала обратной связи системы дискретного весового дозирования.

Наведено закон керування, що враховує динамічну похибку сигналу зворотного зв'язку системи дискретного вагового дозування.

Введение. Дозирование является одной из основных операций современных технологий металлургической, химической, пищевой и др. отраслей [7]. Среди многообразия методов дозирования дискретное весовое дозирование отличается высокой точностью и возможностью оперативного изменения заданной дозы [4]. В процессе совершенствования технологий, с целью получения новых свойств выпускаемой продукции, возникает потребность в увеличении количества исходных компонентов. Задача дозирования нескольких ингредиентов решается путем использования многокомпонентных дозаторов. При использовании отдельного весового бункера для каждого компонента говорят о параллельном многокомпонентном дискретном весовом дозировании. Последовательное дискретное дозирование предполагает поочередную подачу материалов в один весовой бункер, что имеет свои преимущества и недостатки. В частности, за существенное удешевление в результате сокращения количества дорогостоящих весоизмерительных каналов приходится платить увеличением длительности цикла дозирования.

Анализ предыдущих исследований. Структура исследуемой системы управления показана на рис. 1, где обозначено: расходный бункер – 1, вибрлоток – 2, вибропривод – 3, весовой бункер – 4, тензометрический датчик – 5, система автоматического управления – САУ и усилитель управляющего воздействия – У.

Факторами, объективно ограничивающими производительность системы дозирования, являются конечная мощность и прочность вибропитателя, а также необходимость снижения скорости набора компонента в завершающей стадии дозирования с целью получения требуемой точности.

В производстве широко распространен метод «грубого» и «точного» дозирования, при котором вначале питатель работает с максимальной производительностью, а в определенный момент переходит на производительность, близкую к минимальной. Компромисс между быстродействием и точностью находится экспериментальным путем при наладке системы дозирования. Основным недостатком этого метода является неизменная во времени производительность питателя в режиме досыпки, которая, с одной стороны, должна быть как можно меньше (для обеспечения точности) и как

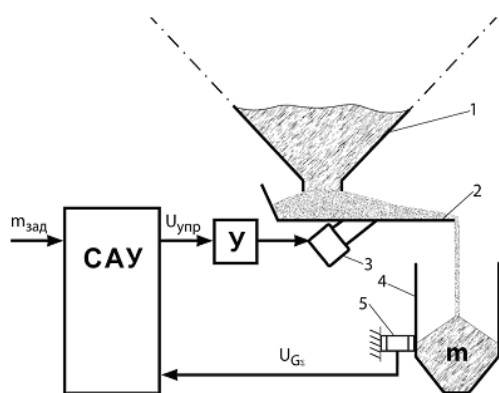


Рис. 1

можно больше (для высокого быстродействия) – с другой. Одним из путей устранения этого противоречия является плавное снижение производительности вибропитателя от максимальной до минимальной.

В результате проведенных исследований определены особенности системы дискретного весового дозирования [2]. Изучены физические процессы, имеющие место в процессе дозирования [8]. Экспериментально подтверждено влияние высоты падения материала на динамические свойства объекта управления [3]. Разработан вычислитель мгновенной производительности [9] и методика определения передаточной характеристики вибропитателя [1], позволяющая реализовать предложенную в [3] структуру системы управления.

Суть предлагаемого метода повышения быстро-

действия системы дискретного весового дозирования состоит в идентификации передаточной характеристики вибропитателя и определении высоты падения материала с целью использования полученной информации для формирования сигнала управления в процессе досыпки.

Цель работы: определить закон управления вибропитателем в завершающей стадии дозирования, обеспечивающий максимальное быстродействие без потери точности дозирования.

Материалы и результаты исследования. В первом приближении система дискретного весового дозирования может быть представлена структурой, показанной на рис. 2, где $m_{зад}$ – заданная масса материала, Δm – рассогласование, $U_{упр}$ – сигнал управления, Q – производительность вибропитателя, m – масса материала в бункере.

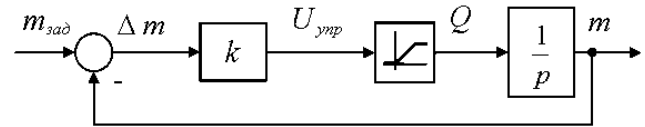


Рис. 2

Регулятор представлен усилительным звеном, бункер дозатора – интегральным. Ограничение производительности вибропитателя сверху обусловлено его конечной мощностью, снизу – невозможностью движения материала в обратном направлении (вверх).

В действительности, ввиду сложности прямого измерения массы, для определения количества материала в бункере используются тензометрические датчики, измеряющие силу тяжести бункера и находящегося в нем материала. Статическая погрешность сигнала обратной связи, обусловленная массой бункера не вызывает трудностей для компенсации. Более сложной задачей является устранение динамической погрешности, обусловленной воздействием падающего материала и зависящей от высоты падения и производительности вибропитателя. Решение данной задачи возможно при наличии достоверных данных о высоте падения материала и передаточной характеристике вибропитателя.

В последовательных многокомпонентных дозаторах питатели кроме функции дозирования выполняют функцию транспортирования материала в один весоизмерительный бункер от расположенных на значительном расстоянии расходных бункеров [6]. Поэтому, в отличие от однокомпонентных дозаторов, оптимизация питателей под задачу дозирования затруднена в подавляющем большинстве случаев уникальностью конструктивного решения весодозирующего комплекса, являющегося частью технологической линии. В общем случае каждый из питателей многокомпонентного дозатора обладает уникальной передаточной характеристикой, параметры которой могут быть получены путем идентификации.

Предлагаемый метод идентификации основан на известном факте отсутствия искажений формы синусоидального сигнала при прохождении через линейные динамические звенья и на предположении, что основные инерционные звенья системы расположены перед единственным нелинейным звеном, описывающим передаточную характеристику вибропитателя.

В качестве тестового предлагается использовать сигнал вида $X(t)=A\sin(\omega t)$. При этом выходной сигнал – $Y(t)=f(A\sin(\omega t))$, где f – передаточная характеристика объекта. Множество точек (x, y) , для которых $x=X(t)$ и $y=Y(t)$, является частью передаточной характеристики объекта $Y^*=f^*(X)$ на интервале $B - A < X < B + A$.

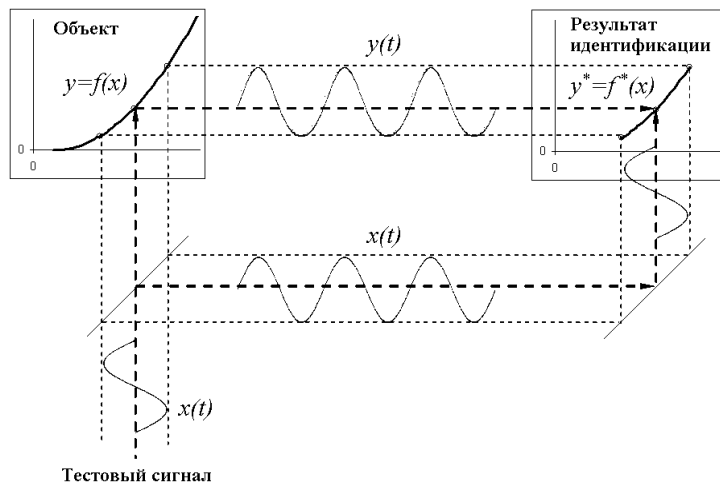


Рис. 3

Графически предлагаемый метод идентификации показан на рис. 3.

При наличии запаздывания τ выходного сигнала $Y(t)=f(A\sin(\omega(t-\tau))+B)$ указанное ранее множество, в общем случае, будет принадлежать эллипсу (правильной формы – при линейной передаточной характеристике или искаженной – при нелинейной характеристике). Добиться расположения точек на линии, являющейся частью передаточной характеристики, можно, используя сдвинутый во времени сигнал управления $X^*(t)=X(t-\tau^*)$, где τ^* – предполагае-

мое запаздывание. Определив τ^* , минимизирующее разброс точек (отклонение от линии), можно найти запаздывание выходного сигнала $\tau = \tau^* \pm T$, где $T=1/\omega$ – период тестового сигнала. Используя априорные знания об объекте $0 < \tau \leq \tau_{\max}$, где τ_{\max} – максимально возможное запаздывание в системе (в нашем случае максимальное время падения, определяемое расстоянием от выходного патрубка вибропитателя до дна весового бункера), выбираем $T > \tau_{\max}$. Определенное путем поиска минимума разброса точек на интервале $[0; T]$ значение предполагаемого запаздывания τ^* будет соответствовать реальному запаздыванию выходного сигнала, т.е. $\tau = \tau^*$.

На основании изложенного выше можно заключить, что использование синусоидального тестового сигнала позволяет идентифицировать передаточную характеристику объекта при неизвестном запаздывании, кроме того, выбор периода тестового сигнала на основании априорных знаний об объекте позволяет однозначно определить указанное запаздывание.

Учитывая, что запаздывание, обусловленное падением материала, является фазовым сдвигом выходного сигнала относительно сигнала управления, т.е. указанный сдвиг несет в себе информацию о высоте падения, предложено использовать данный сдвиг как параметр вычислителя мгновенной производительности. В результате этого образуется замкнутый контур «вычислитель мгновенной производительности – вычислитель разности фаз», устойчивым состоянием которого является фазовый сдвиг, соответствующий реальной высоте падения, и определенная с высокой точностью мгновенная производительность вибропитателя [10].

Структура предлагаемого решения применительно к системе дискретного весового дозирования показана на рис. 4.

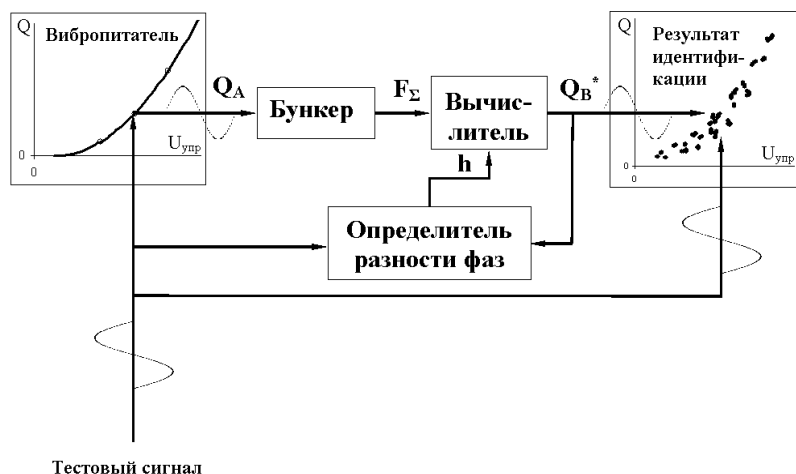


Рис. 4

Идентифицированные в соответствии с описанным выше алгоритмом участки передаточной характеристики вибропитателя отличаются наклоном от статической характеристики, снятой при фиксированных значениях управляющего сигнала. Как выяснилось, вычисленный сигнал мгновенной производительности имеет меньшую амплитуду, чем сигнал, рассчитанный на основании управляющего воздействия и статической передаточной характеристики. Этот факт можно объяснить ослаблением амплитуды сигналов, проходящих через эле-

менты системы, обладающие инерционностью, а именно, вибропитатель и фильтр весоизмерительной части системы. Компенсация указанных инерционностей в алгоритме идентификации нецелесообразна ввиду снижения помехоустойчивости. Поэтому предложено «привести» управляющий сигнал к выходу объекта управления, т.е. определить его амплитуду и фазу при прохождении через все звенья объекта кроме нелинейности и бункера дозатора [10].

Тестирование алгоритма идентификации, учитывающего инерционности вибропитателя и фильтра весоизмерительной части системы, проводилось на экспериментальной установке, описанной в [3]. Результаты эксперимента для высоты падения 0,2; 0,5 и 0,8 м показаны на рис. 5, а, б, в соответственно.

Коэффициенты полинома 2-го порядка, вычисленные путем регрессии полученных в процессе идентификации множеств, приведены в таблице. Для удобства анализа выражения передаточных характеристик вибропитателя записаны в виде $Q(U) = a(U - U_0)$ с явно выраженными смещениями по осям.

Незначительные отличия параметров a и U_0 объясняются нестабильностью передаточной характеристики, обусловленной свойствами сыпучих материалов и процессами истечения из расходного бункера. Задачей идентификации является определение параметров передаточной характеристики в текущий момент времени, поэтому совпадение или отличие указанных параметров не может служить оценкой точности метода.

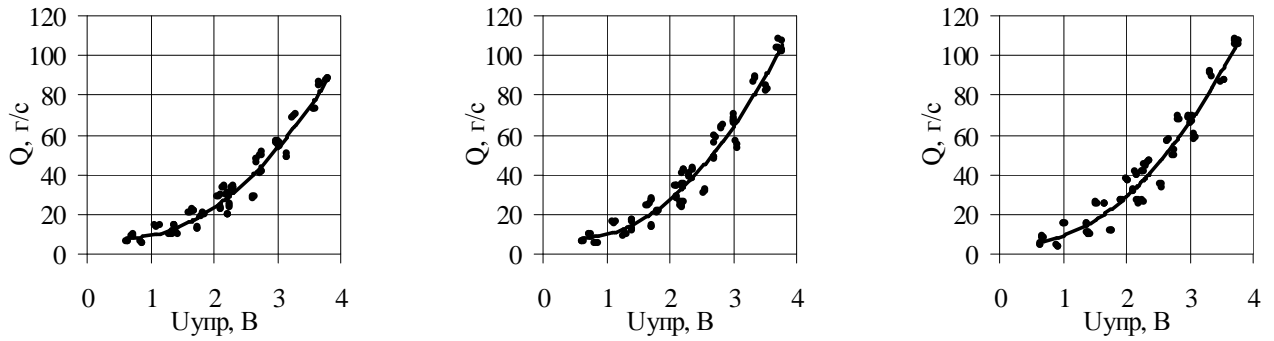


Рис. 5, а,б,в

Особого внимания заслуживает параметр Q_0 , близкий к нулю (-0,55 г/с) для статической характеристики и равный 5...8 г/с для характеристик, определенных в динамике. Графически данное различие отражено на рис. 6, а.

Как известно, вибротранспортирование не происходит при амплитуде вибрации ниже определенного порога [11], т.е. в отношении управляющего сигнала можно записать $Q(U) = 0$ при $U \leq U_0$, где U_0 – значение управляющего сигнала, соответствующее пороговой амплитуде вибрации. Следовательно, практически возможно при $U_{упр} > U_0$ определять производительность как $Q(U) = a(U - U_0)^2$.

Графики передаточных характеристик, смещенные за счет приравнивания нулю параметра Q_0 , показаны на рис. 6, б.

Режим идентификации		Коэффициенты		
		a	U_0	Q_0
Статика		7,65	0,76	0,55
Динамика	$h=0,2$ м	7,80	0,60	8,00
	$h=0,5$ м	9,37	0,56	7,94
	$h=0,8$ м	8,74	0,36	5,44

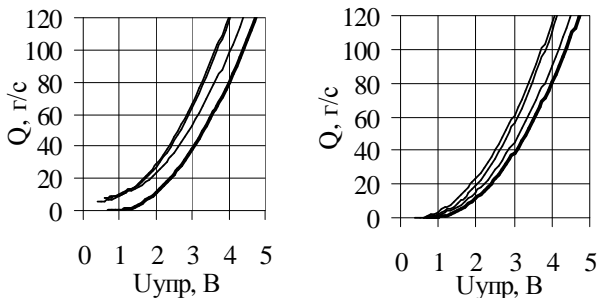


Рис. 6, а,б

Полученные результаты идентификации реального объекта дают основания заявлять о работоспособности предложенного метода идентификации и возможности использования полученных параметров объекта при формировании управляющего сигнала в процессе досыпки.

Предложенная в [3] структура системы управления в завершающей стадии дозирования может быть представлена в виде, показанном на рис. 7, а, где $G_{зад}$ – заданный вес компонента, ΔG – ошибка, K_p – коэффициент усиления регулятора веса, $Q_{зад}$ – заданная производительность вибропитателя, Л – блок линеаризации, $U_{упр}$ – управляющий сигнал, ОУ – объект управления, F_Σ – суммарная сила воздействия на весоизмерительный датчик, КДП – корректор динамической погрешности сигнала обратной связи, F_k – корректирующий сигнал, G – текущий вес компонента с учетом материала, находящегося в падающем потоке.

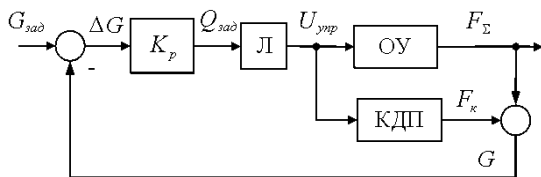


Рис. 7, а

Управляющий сигнал на выходе линеаризатора формируется в соответствии с выражением

$$U_{упр} = U_0 + \sqrt{Q_{зад}/a}, \quad (1)$$

где U_0 , a – коэффициенты передаточной характеристики, полученные в результате идентификации.

Учитывая, что объект управления имеет нелинейную характеристику, а коррекция динамической погрешности обратной связи $F_k(t)$ является функцией

производительности вибропитателя $Q(t)$, с целью снижения вычислительной нагрузки на систему управления, в качестве входного сигнала корректора динамической погрешности предлагается использовать заданное значение производительности вибропитателя $Q_{зад}(t)$ (рис. 7, б).

Переместив правый сумматор на вход усилительного звена (рис. 7, в), получим замкнутый контур, представляющий собой ни что иное как регулятор, учитывающий динамическую погрешность сигнала обратной связи.

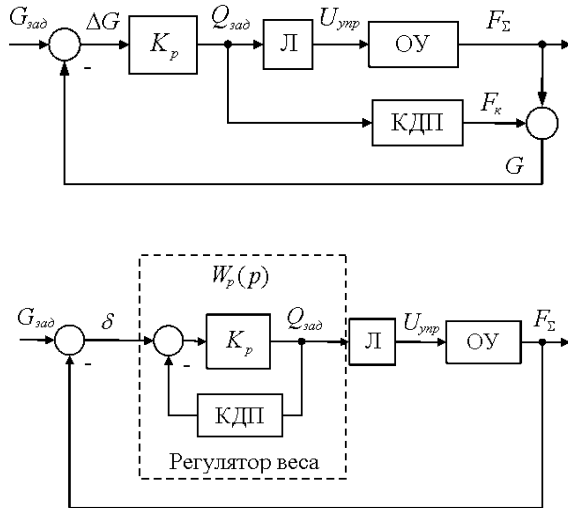


Рис. 7, б, в

поверхностью неподвижного материала, находящегося в бункере дозатора.

С учетом

$$\int_{t-\tau}^t Q(t)dt = \int_{t_0}^t Q(t)dt - \int_{t_0}^t Q(t-\tau)dt \quad (4)$$

при $\tau \leq t_0 \leq (t - \tau)$ передаточная функция корректора запишется как

$$W_{КДП}(p) = \frac{g}{p}(1 - e^{-\tau p}) - g\tau e^{-\tau p}. \quad (5)$$

Используя приближенное описание запаздывания [5] $e^{-\tau p} = \left(\frac{-\tau p + 2k}{\tau p + 2k}\right)^k$, где $k = (1, 2, \dots)$, для $k=1$ можем записать

$$W_{КДП}(p) = g\tau^2 p / (\tau p + 2). \quad (6)$$

Учитывая полученное выражение, передаточная функция регулятора будет иметь вид

$$W_p(p) = K_p(T_1 p + 1) / (T_2 p + 1); \quad T_1 = \tau / 2; \quad T_2 = (1 + g\tau K_p) / 2. \quad (7)$$

Закон управления вибропитателем в завершающей стадии дозирования запишется следующим образом:

$$\begin{cases} U_{упр}(t) = U_0 + \sqrt{Q_{зад}(t)/a}; \\ Q_{зад}(t) = K_p(T_1 \frac{d\delta(t)}{dt} + \delta(t)) - T_2 \frac{dQ_{зад}(t)}{dt}, \end{cases} \quad (8)$$

где $\delta(t)$ – рассогласование.

На рис. 8 показаны результаты моделирования процесса дозирования при высоте падения $h=0,8$ м для системы, работающей в режимах «грубо/точно» (кривая 1) и системы с идентификацией (кривая 2).

Передаточная функция регулятора будет иметь вид:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{1 + K_p \cdot W_{КДП}(p)}. \quad (2)$$

Коррекция динамической погрешности обратной связи

$$F_k(t) = g \cdot \int_{t-\tau}^t Q(t)dt - g \cdot \tau \cdot Q(t-\tau) \quad (3)$$

состоит из двух слагаемых – прибавки силы тяжести

за счет материала, находящегося в полете $g \int_{t-\tau}^t Q(t)dt$,

где g – ускорение свободного падения, τ – время падения материала, $Q(t)$ – мгновенная производительность вибропитателя, и взятой с обратным знаком силы воздействия падающего материала $g\tau Q(t-\tau)$, где $Q(t-\tau)$ – мгновенная производительность вибропитателя в точке касания падающего материала с

Как видно из представленных графиков, потеря времени на идентификацию в начальной стадии набора компенсируется за счет сокращения завершающей стадии, что в конечном итоге дает выигрыш во времени около 5-ти секунд.

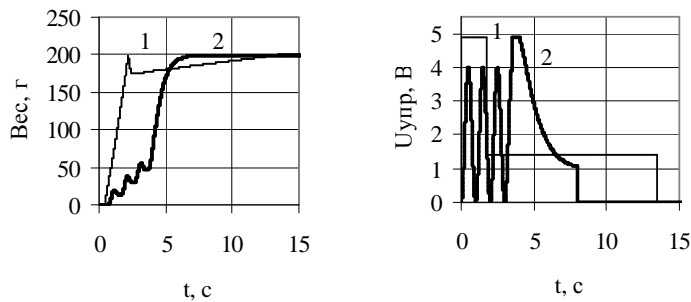


Рис. 8

характеристику вибропитателя в начальной стадии дозирования.

Экспериментальные данные, полученные в результате тестирования алгоритма идентификации, подтверждают работоспособность и достаточную точность предложенного способа определения передаточной характеристики вибропитателя.

Формирование сигнала управления в завершающей стадии дозирования на основании результатов идентификации объекта управления позволяет уменьшить время дозирования на 25–30%.

Выводы. Установленная зависимость искажения сигнала обратной связи от высоты падения и производительности позволила реализовать вычислитель мгновенной производительности вибропитателя, учитывающий влияние кинетической энергии падающего с переменной высоты материала.

Использование синусоидального управляющего сигнала дает возможность идентифицировать передаточную

1. Бондаренко В.И., Осадчий В.В., Пирожок А.В. Определение передаточной характеристики вибропитателя в системе дискретного весового дозирования // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2008. – Вып.30. – С. 379–380.

2. Бондаренко В.И., Осадчий В.В., Пирожок А.В. Структура электромеханической системы вибрационного типа линии массоприготовления огнеупорного производства // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2005. – Вып.45. – С. 276–277.

3. Бондаренко В.И., Пирожок А.В., Осадчий В.В. Синтез системы управления электромеханического устройства дозирования вибрационного типа // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – 2007. – С. 74–75.

4. Гроссман Н.Я., Шнырев Г.Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования. – М.: Машиностроение, 1988. – 294 с.

5. Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. – М., 2004. – 912 с.

6. Карпин Е.Б. Средства автоматизации для измерения и дозирования массы. – М.: Машиностроение, 1971.

7. Катальмов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.

8. Осадчий В.В. Уточнение взаимосвязей и параметров электромеханической системы дозирования вибрационного типа // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2007. – Вып.4 (45). – Ч. 2. – С. 19–21.

9. Осадчий В.В. Определение мгновенной производительности вибропитателя на основании сигнала с датчика веса в системе дискретного дозирования // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2008. – Вып.4 (51). – Ч. 2. – С. 91–93.

10. Осадчий В.В., Садовой А.В. Идентификация передаточной характеристики вибропитателя в процессе дискретного весового дозирования // Електроінформ. Тем. вип. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – 2009. – С. 329–330.

11. Потураев В.Н., Франчук В.П., Червоненко А.Г. Вибрационные транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1964. – 272 с.

Надійшла 26.02.2010