

УДК 681.269

**Н.Д. КОШЕВОЙ, Г.А. ЧЕРЕПАЩУК, Е.Е. КАЛАШНИКОВ**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Рассмотрены весоизмерительные системы, применяемые в современной промышленности для непрерывного дозирования сыпучих материалов в процессе приготовления многокомпонентных смесей. Проведен подробный анализ конструктивных особенностей весоизмерительных систем, влияющих на точность дозирования сыпучего материала, предложена конструкция весоизмерительной системы, позволяющая исключить конструктивные недостатки существующих систем. Выполнена оценка составляющих системы, на предмет влияния на точность дозирования сыпучего материала.

**сыпучий материал, весоизмерительная система, погрешность измерения, дозатор, тензодатчик, конвейерные весы, весоизмерительный лоток, микроконтроллер, масса тары**

### **Введение**

Процесс дозирования материалов является неотъемлемой частью технологических процессов на большинстве предприятий горнодобывающей, химической и пищевой промышленности. В современной промышленности для непрерывного дозирования сыпучих материалов широкое применение нашли конвейерные весы и дозаторы. Характерной особенностью весоизмерительных систем, применяемых на многих предприятиях, является то, что они морально устарели, физически изношены и нуждаются в замене или модернизации.

**Постановка проблемы.** Дозирование материалов, приготовление многокомпонентных смесей является неотъемлемой частью технологических процессов предприятий горнодобывающей, химической и пищевой промышленности. Возрастающие требования к качеству производимой предприятиями продукции обуславливают ужесточение требований технологических процессов. Для выпуска качественной продукции важно повышение точности дозирования сыпучих материалов.

Благодаря высокому уровню развития микроэлектронной техники в конвейерных весоизмерительных и весодозирующих системах достигается ре-

альная точность дозирования порядка 1,0 %. Но современные требования технологических процессов многих предприятий уже не удовлетворяет точность дозирования, характерная конвейерным весоизмерительным системам.

**Анализ существующих исследований и публикаций.** На точность конвейерных весов, как и других весовых систем, существенным образом влияет способ передачи весовой нагрузки от сыпучего материала на силоизмерительные датчики, определяемый конструкцией грузоприемного устройства [1], которое должно отвечать ряду общих требований, в частности:

- обеспечивать точную передачу измеряемой нагрузки на весоизмерительные датчики;
- сводить к минимуму влияние различных факторов, увеличивающих погрешность взвешивания;
- минимизировать стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации;
- обеспечивать возможность применения косвенных способов поверки.

Идеально точная передача измеряемой нагрузки обеспечивается в том случае, когда на силовоспринимающее звено (весовую роликкоопору) грузоприемное устройство будет наложено только одно условие связи – устранено линейное перемещение

вдоль вертикальной оси  $Z$  выбранной системы.

В связи с необходимостью обеспечения устойчивости конструкции грузоприемного устройства при таком комплексе действующих на него сил наибольшее распространение получили однороликовые грузоприемные устройства с плоско-параллельным или угловым перемещением и меньшее – одно и многороликовые платформенные грузоприемные устройства.

В метрологическом отношении несовершенные грузоприемные устройства всегда хуже, т.к. дополнительные связи приводят к снижению чувствительности конвейерных весов и достижение высокой точности измерения массы возможно только при высокой точности изготовления и монтажа, а также стабильности эксплуатационных параметров конвейерных установок после градуировки конвейерных весов.

Кроме указанного общего недостатка конвейерных весов из-за уменьшения чувствительности, вызванной необходимостью введения дополнительных связей, недостатком двух и многороликовых платформенных грузоприемных устройств, опирающихся более чем на 3 силоизмерительных датчика, является их статическая неопределенность, которая приводит к неравномерности нагружения соединительных звеньев и силоизмерительных датчиков, снижая надежность в целом. Для уменьшения неравномерности распределения нагрузки в конструкциях соединительных звеньев применяются компенсирующие детали. Неравномерность распределения нагрузки уменьшается при достаточной податливости конструкции звеньев, но она вызывает дополнительную просадку грузоприемного устройства и рост связанной с ней основной (систематической) погрешности.

Невозможность повышения точности дозирования сыпучих материалов конвейерными весодозирующими системами обусловлена следующими конструктивными особенностями данных систем:

– погрешность зависит от натяжения конвейерной ленты. Натяжение конвейерной ленты меняется из-за колебаний температуры в цеху, температуры материала, а также из-за ее естественного растяжения в ходе работы;

– при движении ленты по весоизмерительному ролику все неровности ленты, вариации ее толщины и места склейки вносят случайные погрешности. Причем спектральные характеристики измеряемой случайной функции определяются скоростью движения ленты, которая изменяется в широких пределах. Из этой функции вычитается усредненная по длине ленты масса тары, которая была определена по одной, причем другой скорости [2];

– в процессе эксплуатации дозаторов масса тары увеличивается из-за накопления пыли на частях ленты, выступающих за боковые ограничительные стенки. Кроме того, на плоских резинках, закрывающих щели под боковыми стенками, остается материал, который не движется, но давит на ленту. Сами резинки также давят на ленту, и их давление непостоянно;

– микроперемещения весового ролика или весоизмерительной платформы соизмеримы с люфтом в осевой опоре роликов;

– погонная нагрузка на ленту конвейера не постоянна, в связи с чем при резком изменении нагрузки возможны изменения скорости движения конвейерной ленты и возникновение автоколебаний в электроприводе конвейера.

## Решение проблемы

Решением данной проблемы является применение двухагрегатных весоизмерительных систем с весоизмерительным лотком.

Весоизмерительный лоток представляет собой наклонную плоскость с системой силопередающих рычагов, установленную на неподвижном основании с помощью шарниров или призм. Сыпучий материал, двигаясь по поверхности лотка, воздейству-

ет на тензометрические датчики силы, входящие в состав силопередающих рычагов.

### Основные материалы исследования

Конвейерные весы и дозаторы в зависимости от условий эксплуатации и требований технологического процесса производства [3] изготавливают с устройствами, обеспечивающими следующие технические показатели (функции):

- местное или дистанционное задание значений производительности;
- показания значений текущей производительности дозатора и суммарной массы материала, взвешенного на конвейерных весах;
- выдача выходных сигналов на блокировку смежного оборудования или включение сигнализации при перегрузке дозаторов и конвейерных весов;
- сигнализация о состоянии механизмов;
- документальная регистрация процесса взвешивания и дозирования;
- вывод информации на печатающее устройство или ЭВМ высшего уровня.

В ходе проведенных ранее исследований [4] была разработана весоизмерительная система, включающая в свой состав весоизмерительный лоток. Использование весоизмерительного лотка позволило исключить влияние конвейерной ленты на точность дозирования сыпучих материалов. На рис. 1 приведен общий вид весоизмерительного лотка, где 1, 2, 4 – тензометрические датчики силы; 3 – весоизмерительный лоток.

Использование в весоизмерительной системе измерительного лотка позволило исключить недостатки, присущие системам, которые построены на базе конвейерных весов.

Оригинальное крепление тензометрических преобразователей дает возможность повысить точность дозирования по сравнению с другими весоизмерительными системами, использующими измерительный лоток.

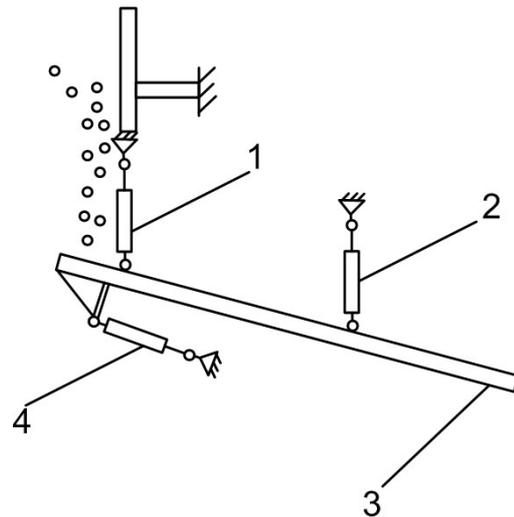


Рис. 1. Общий вид измерительного лотка

В разработанной весоизмерительной системе исключается влияние конвейера на точность дозирования сыпучих материалов и при расчете производительности системы. Благодаря предложенной оригинальной схеме крепления тензометрических датчиков силы [5] точность дозирования фактически определяется точностью изготовления силопередающих рычагов тензодатчиков, точностными характеристиками самих датчиков, погрешностью преобразования аналогового сигнала в цифровой код и погрешностью, вносимой микроконтроллером при обработке полученных данных.

Производительность разработанной весоизмерительной системы может изменяться от 1 т/ч до 500 т/ч. Проведенные ранее экспериментальные исследования [4] показали, что максимальный вес дозируемого материала, находящегося на измерительном лотке за 1 секунду, не превышает 140 кг. В данной системе выбраны S-образные тензометрические преобразователи фирмы ESIT, применяемые для измерения усилий растяжения и сжатия. Тензодатчики изготовлены из стали и полностью герметичны, степень защиты IP 67, класс точности С3 по ГОСТ 30129-96. Они внесены в Государственный реестр средств измерительной техники (СИТ) Украины. В каждый тензодатчик встроена электронная система термостабилизации, тензодатчики малочув-

ствительны к боковым нагрузкам и обладают стабильными во времени характеристиками. В табл. 1 приведены основные технические характеристики датчиков. Относительная погрешность каждого тензометрического преобразователя не превышает  $\pm 0,25\%$ .

Таблица 1

Технические характеристики датчиков

Параметры тензодатчика	Физическая величина
Номинальная нагрузка, кг	200
Класс точности	C3
Рабочий коэфф. передачи (РКП), мВ/В	2,00
Напряжение питания номинальное, В	10
Напряжение питания максимальное, В	15
Входное сопротивление, Ом	380
Выходное сопротивление, Ом	350
Сопротивление изоляции, МОм	$\geq 5$
Допустимая перегрузка, %	150
Температурный диапазон, °С	От - 40 до + 80
Длина кабеля, м	5
Масса, кг	0,8

Погрешность, вносимая аналого-цифровым преобразователем, определяется его быстродействием и разрядностью,  $\delta \leq 0,05\%$  с учетом динамической и статической составляющих.

Преобразование выходных аналоговых сигналов тензодатчиков в цифровой код осуществляется специализированными тремя аналого-цифровыми преобразователями AD7730 производства фирмы Analog Devices. Микросхема сигма-дельта АЦП AD7730 представляет собой устройство преобразования аналогового сигнала в цифровой со встроенными схемами управления и интерфейса для применения в электронных весах и системах измерения и контроля давления. Входной сигнал поступает на усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA) и на аналоговый модулятор. Выходной сигнал модулятора обрабатывается цифровым фильтром низкой частоты с программируемой частотой среза, скоростью обновления данных на выходе и

временем установки. На АЦП могут подаваться четыре однополярных и биполярных аналоговых сигнала с амплитудой, соответствующей полной шкале (от 10 до 80 мВ). Разрешающая способность может достигать  $1 / 230000$  (от пика до пика). Встроенный в ИС 6-разрядный цифро-аналоговый преобразователь можно использовать для компенсации веса тары в электронных весах. Последовательный интерфейс устройства может быть сконфигурирован как трехпроводный; этот интерфейс совместим с микроконтроллерами и цифровыми сигнальными процессорами. Измерительная схема AD7730 обладает встроенными средствами самокалибровки и системной калибровки и обеспечивает дрейф смещения не более  $5 \text{ нВ} / ^\circ\text{C}$  и дрейф коэффициента усиления величиной не более  $2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ . При столь малом уровне дрейфа калибровка при включении прибора обычно не нужна [6].

Используемый в весоизмерительной системе микроконтроллер C8051F021 производства фирмы Silicon Laboratories представляет собой полностью интегрированную на одном кристалле систему для обработки аналого-цифровых сигналов. Микроконтроллер имеет 32 цифровых входа/выхода, встроенную схему слежения за напряжением питания, сторожевой таймер, тактовый генератор, который после сброса используется как источник тактовых импульсов по умолчанию. Наличие 22 источников прерываний позволяет многочисленным аналоговым и цифровым периферийным модулям прерывать работу микроконтроллера. Система управления прерываниями требует меньшего вмешательства со стороны программы, что улучшает ее производительность. Дополнительные источники прерываний очень полезны при построении многозадачных систем, работающих в режиме реального времени.

Погрешность, вносимая микроконтроллером, незначительна  $\delta \leq 0,05\%$ , и фактически определяется заложенным в него вычислительным алгоритмом. Точность алгоритма вычисления определяется исхо-

для из следующих составляющих погрешностей: округления, методической и наследственной (неточность исходных данных).

Мгновенный расход сыпучего материала определяется по формуле:

$$M = \left( \frac{A+B}{\cos \alpha} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sin \alpha \cdot (A+B) - F \cdot \cos \alpha}{6 \cdot g \cdot L \cdot (A-B)}}, \quad (1)$$

где  $M$  – масса расхода сыпучего материала, кг/с;  $L$  – длина измерительного лотка, м;  $A, B, F$  – масса сыпучего материала, измеренная тензодатчиками 1, 2, 4, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол наклона измерительного лотка, постоянен.

Погрешность результата определяется погрешностями измерения каждого параметра ( $A, B$  и  $F$ ), причем каждая из них вносит свой индивидуальный, отличный от прочих, вклад в погрешность результата. Для вычисления погрешности мы предполагаем известной функциональной зависимостью результата косвенного измерения  $M$  от аргументов  $A, B$  и  $F$ :

$$M = f(A; B; F).$$

Расчет погрешности косвенного измерения предусматривает вычисления частных производных функции  $M$  по величинам  $A, B$  и  $F$ . Погрешность измерения  $\Delta M$  определяют по формуле:

$$\Delta M = \frac{\partial M}{\partial A} \Delta A + \frac{\partial M}{\partial B} \Delta B + \frac{\partial M}{\partial F} \Delta F. \quad (2)$$

Проведя операции дифференцирования, подставив в уравнение (2) полученные результаты и погрешности измерения  $\Delta A, \Delta B$  и  $\Delta F$  получим погрешность измерения  $\Delta M$ .

### Заключение

Предложенная весоизмерительная система построена на современной элементной базе, которая позволяет системе функционировать с высокой надежностью. Рассмотрев компоненты весоизмерительной системы, влияющие на точность дозирования сыпучего материала, можно сделать вывод о том, что

ожидаемая погрешность непрерывного дозирования сыпучего материала не будет превышать 0,5 %.

Окончательные метрологические характеристики разработанной весоизмерительной системы можно получить только в процессе проведения ее метрологической аттестации.

### Литература

1. Назаров В. Н., Круг О.В. Существующие конструкции и способы поверки конвейерных весов и их совершенствование // Всероссийская научно-практическая конференция «Метрологическое обеспечение весоизмерительной техники. «Весы-2006», 4-8 сентября 2006: Сб. докладов. – Самара: ВНИИМС, 2006. – С. 55-67.
2. Батенко. А. Еще раз о ленточных дозаторах и расходомерах // Комбикорма. – 1999. – № 8. – С. 17-21.
3. ГОСТ 30124–94. Весы и весовые дозаторы непрерывного действия. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 9 с.
4. Калашников Е.Е., Кошевой Н.Д., Черпащук Г.А. Экспериментальное исследование весоизмерительной системы непрерывного действия // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: ХАИ, 2007. – Вып. 35. – С. 196-199.
5. Патент UA27285, Украина, МПК G 01 F 11/00 Весоизмерительная система / Н.Д. Кошевой, Г.А. Черпащук, Е.Е. Калашников. Заяв. 08.06.07; Оpubл. 25.10.07, Бюл. № 17. – 3 с.
6. Альберт О'Греди. Методы возбуждения измерительных датчиков и применение измерительных схем AD7711 и AD7730 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.compitech.ru/html/cgi/arhi>.

Поступила в редакцию 26.02.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.