

УДК 621.867:681.26

Г.А. ЧЕРЕПАЩУК, Е.А. ПРОТАКОВСКАЯ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ НА КОНВЕЙЕРНЫХ ВЕСАХ

Рассмотрены основные причины возникновения погрешности измерения и методы их компенсации, даны рекомендации по выбору оптимального места встройки весов, а также приведен численный пример расчета методической погрешности.

конвейерные весы, линейная плотность продукта, жесткость ленты, систематическая погрешность, весовая роликкоопера

Введение

Отличительной особенностью современного развития весоизмерительной техники является широкое распространение весовых устройств для взвешивания объектов в движении, а также применение систем взвешивания и дозирования для управления технологическими процессами различных производств. Количественный и качественный учет готовой продукции, рациональное использование исходных продуктов в технологии промышленной переработки сырья и материалов во многом зависят от точности взвешивания и дозирования сыпучих и жидких продуктов. Поэтому проблема повышения точности измерения массы продуктов сегодня является актуальной.

Весы непрерывного действия (конвейерные весы) широко используются в качестве технологического оборудования в промышленности и сельском хозяйстве. Принцип действия, положенный в основу работы конвейерных весов, заключается в реализации автоматического интегрирования функции, представляющей собой произведение действующих значений линейной плотности и скорости транспортера

$$Q = k \int_{t_1}^{t_2} q(t)v(t)dt, \quad (1)$$

где k – коэффициент преобразования, постоянный

для конкретной конструкции интегрирующего устройства;

q – линейная плотность продукта;

v – скорость транспортера;

t_1, t_2 – начальный и конечный моменты времени работы весов.

Рассматривая проблемы повышения точности конвейерных весов, можно выделить следующие особенности, влияющие на точность измерения веса:

- натяжение конвейерной ленты;
- место установки весового устройства по длине конвейера;
- взаимодействие материала с лентой конвейера;
- неоднозначность передачи давления ленты роликкооперам конвейера, вызванная изменяющейся жесткостью ленты.

Рекомендации по установке весовых устройств по длине конвейера, исходя из условия минимизации влияния на их точность колебаний натяжения ленты при изменении ее погонной нагрузки, даны в [1]. Рассмотрены варианты стабилизации статической функции преобразования весов при колебаниях натяжения и массы конвейерной ленты, реализуемые в схеме первичного преобразователя весов, состоящего из грузоприемного устройства и силоизмерительных преобразователей. Инвариантность

весов к изменениям натяжения ленты обеспечивается одновременным измерением массы транспортируемого материала на двух весовых участках. Под нагрузкой одна роликоопора устанавливается ниже, а вторая выше стационарных роликоопор, ограничивающих соответствующие весовые участки. Сигналы двух силоизмерительных преобразователей суммируются общим регистрирующим устройством. У таких преобразователей возмущение имеет низкочастотный спектр, поэтому для анализа исследуются алгебраические уравнения, связывающие параметры преобразователя и возмущения.

По условию минимизации влияния взаимодействия материала с лентой конвейера ГОСТ 30124-94 рекомендует встраивать весовое устройство на не менее чем четырехкратном расстоянии между осями соседних роликов от места подачи и сброса материала [2].

Неоднозначность передачи давления ленты роликоопорам конвейера, вызванная изменяющейся жесткостью ленты, существенно проявляется на коротких конвейерах и конвейерах с резино-тросовой лентой. В [3] приведен расчет количества опор, определяющего зону выбора оптимального места встройки весов по критерию минимизации погрешности при передаче весовой роликоопоре давления ленты материала.

Представив конвейерную ленту в виде балки на шарнирных опорах, рассчитаны методические погрешности измерения при различном количестве роликоопор $N = 5, 7, 9, 11$. По результатам расчетов сделан вывод, что минимальной зоной влияния весов следует считать участок конвейера, ограниченный минимальным количеством роликоопор $N_{\min} = 11$. В середину этого участка встраивается грузоприемное устройство. При таком условии обеспечивается значение систематической погрешности δ , не превышающей регламентированную $\delta_{\text{дон}} = 0,3\%$.

Однако в работе [3] рассматривалось воздействие по всей длине конвейера равномерной погонной нагрузки, а длина пролетов между роликоопорами принималась одинаковой, что в реальных условиях эксплуатации достичь невозможно. Поэтому ниже предпринята попытка оценить влияние на показания весов неодинакового расстояния между роликами, а также воздействие неравномерно распределенной нагрузки.

На рис. 1 представлена лента в виде балки, опирающейся на 11 роликоопор, на которую воздействует распределенная нагрузка q . Роликоопора в центре – весовая. Первая и одиннадцатая роликоопоры ограничивают предполагаемую действительную зону влияния весов, обусловленную жесткостью. В реальных условиях величина q случайна и зависит от многих факторов, в том числе и от устройства подачи материала (питателя). Поэтому можно считать, что величина q по длине конвейера распределена по нормальному закону распределения. Однако для упрощения расчета и наглядности результатов принято, что нагрузка q изменяется по детерминированному закону:

$$q = q_0 + h \sin \omega l, \quad (2)$$

где q_0 – номинальное значение нагрузки;

h – амплитуда колебаний нагрузки;

ω – частота колебаний.

Такой выбор обоснован тем, что в процессе насыпки на ленту материала на одних участках ленты обычно образуются «холмики», а на других «впадины». В идеальном случае при равномерной загрузке ленты величины $h \sin \omega l = 0$ и $q = q_0$.

Расстояния между роликоопорами приняты равными

$$l_i = l_0 + \Delta l_i, \quad (3)$$

где l_0 – номинальная длина пролета между роликами;

Δl_i – отклонение длины пролета от номинального значения.

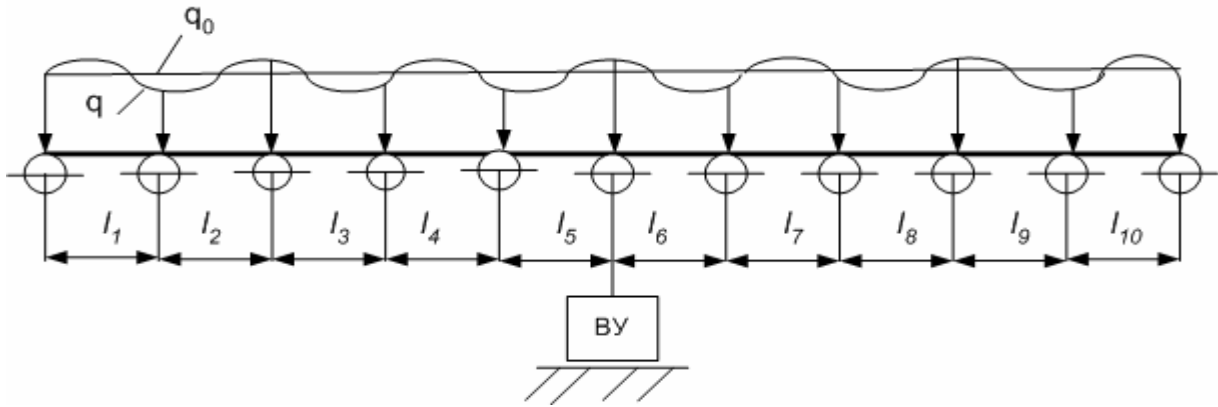


Рис. 1. Конвейерная лента на одиннадцати роликоопорах

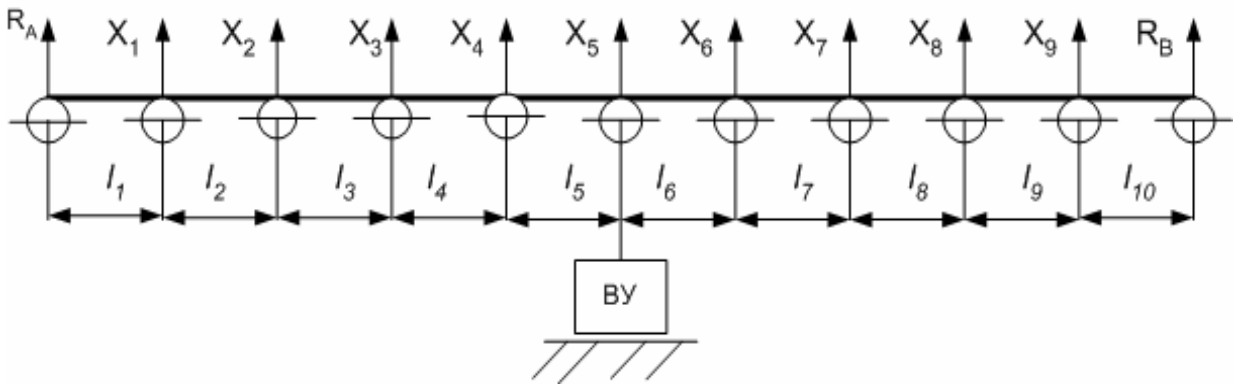


Рис. 2. Расчетная схема

Представив ролики шарнирными опорами и заменив их реакциями X_i (рис. 2), составляются канонические уравнения метода сил [4]:

$$\begin{cases} X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + \dots + X_9\delta_{19} = -\Delta_{1p}; \\ X_1\delta_{21} + X_2\delta_{22} + \dots + X_9\delta_{29} = -\Delta_{2p}; \\ X_1\delta_{31} + X_2\delta_{32} + \dots + X_9\delta_{39} = -\Delta_{3p}; \\ \dots \\ X_1\delta_{91} + X_2\delta_{92} + \dots + X_9\delta_{99} = -\Delta_{9p}, \end{cases} \quad (4)$$

где Δ_{ip} – перемещения по направлению силы X_i от воздействия нагрузки q ;

δ_{ik} – перемещения по направлению силы X_i от воздействия силы X_k , причем $\delta_{ik} = \delta_{ki}$.

Для определения перемещений Δ_{ip} и δ_{ik} строятся эпюры изгибающих моментов в основной системе отдельно от заданной нагрузки и от каждой единичной силы $X_i = 1$.

Зависимость изгибающего момента $M_q(x)$ име-

ет вид:

$$M_q(x) = -\frac{q_0 \cdot x^2}{2} + \frac{h}{\omega^2} \cdot \sin \omega x + \frac{q_0 \cdot (l_1 + l_2 + \dots + l_{10}) \cdot x}{2} - \frac{h \cdot x \cdot \sin(\omega \cdot (l_1 + l_2 + \dots + l_{10}))}{\omega^2 \cdot (l_1 + l_2 + \dots + l_{10})}, \quad (5)$$

где x принимает значения от l_1 до l_{10} .

По методу Мора можно вычислить перемещения Δ_{ip} [4]:

$$\Delta_{ip} = \int_s \frac{M_i M_q}{EJ} ds; \quad \delta_{ik} = \int_s \frac{M_i M_k}{EJ} ds. \quad (6)$$

Представление в общем виде коэффициентов Δ_{ip} и δ_{ik} через величины q и l_i довольно затруднительно из-за громоздкости выражений.

Поэтому ниже приведен численный пример расчета реакций опор.

Для расчета приняты следующие исходные данные:

- синусоидальная нагрузка $q = q_0 + h \sin \omega l$;
- неодинаковое расстояние между роликами;
- $h = 10\%(q_0)$;
- $\omega = 2\pi/l_0, l_0 = 1$ м.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Используя формулы (4), (5), (6), получены расчетные значения реакций опор (табл. 2).

Таблица 1

Исходные данные для расчета

q_0 , кг/м	h , кг/м	ω	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	l_5 , м	l_6 , м	l_7 , м	l_8 , м	l_9 , м	l_{10} , м
50	5	2π	1,005	0,997	1,002	1,001	0,999	1,002	1,004	1,003	1,001	1,002

Таблица 2

Расчетные значения реакций роликкоопор

R_A , кг/м	X_1 кг/м	X_2 кг/м	X_3 кг/м	X_4 кг/м	X_5 кг/м	X_6 кг/м	X_7 кг/м	X_8 кг/м	X_9 кг/м	R_B , кг/м
27,068	56,766	48,175	50,441	50,081	49,864	50,194	50,469	48,547	56,588	27,065

Согласно [3], наиболее точное значение массы может быть получено при установке весовой роликкоопоры по центру, т.е. измеренное значение $X_5 = 49,864$ кг/м наиболее соответствует действительной нагрузке $q_0 = 50$ кг/м.

Тогда методическая погрешность

$$\delta = \frac{X_5 - q_0}{q_0} \cdot 100\% = 0,28\% . \quad (7)$$

Однако из табл. 2 видно, что при установке весового устройства под четвертую роликкоопору измеренное значение нагрузки $X_4 = 50,081$ кг/м будет более точным. При этом методическая погрешность $\delta = 0,17\%$.

Таким образом, можно сделать вывод, что рекомендации по выбору весовой роликкоопоры, приведенные в [3], не являются общими для всех видов нагрузки и требуют уточнения для каждого типа весов с учетом расстояний между роликами и вида распределения материала на ленте.

По изложенной выше методике при проектировании конкретной ленты конвейера можно теорети-

чески определить оптимальное место установки весовой роликкоопоры, что позволяет минимизировать систематическую погрешность, вызванную неоднозначностью передачи давления ленты роликкоопорам.

Литература

1. Донис В.К., Гудовский Ю.В., Бочаров А.В. Рекомендации по установке весовых устройств // Измерительная техника. – 1977. – № 8. – С. 40-42.
2. ГОСТ 30124-94. Весы и весовые дозаторы непрерывного действия. Общие технические требования.
3. Донис В.К., Рачковский А.Е., Син В.М. Выбор оптимального места установки весов // Измерительная техника. – 2004. – № 2. – С. 33-36.
4. Соппротивление материалов / Под ред. Г.С. Писаренко. – К.: Вища школа, 1974. – 672 с.

Поступила в редакцию 12.12.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.