

## Поверка многоканальных конвейерных весов непрерывного действия

И. А. ГАЛИН

Карагандинский государственный технический университет,  
Караганда, Республика Казахстан, e-mail: iagalin@mail.ru

Рассмотрены схемы многоканальных конвейерных весов. Представлена методика поверки таких весов эталонным грузом. Показано, что при проведении поверки без остановки технологического процесса многоканальные конвейерные весы могут быть представлены комбинацией двухканальных весов.

**Ключевые слова:** многоканальные конвейерные весы, грузоприёмное устройство, эталонный груз, сыпучий материал, имитируемая масса материала.

The certain versions of multichannel conveyor-type balances configurations are considered. A procedure of verification of multichannel conveyor balances using the reference weight is presented. It is shown that multichannel conveyor balances may be represented by a combination of two-channel conveyor balances during calibration by reference weight without stopping the technological process.

**Key words:** multichannel conveyor balances, cargoreceiver, reference weight, bulk material, simulated mass of material.

Одним из приемов повышения точности взвешивания сыпучего материала с помощью конвейерных весов (КВ) является удлинение участка взвешивания ленты, что достигается увеличением количества одно- или многороликовых грузоприёмных устройств (ГУ). Если все ГУ механически и электрически независимы друг от друга, то можно говорить о КВ с многоканальной системой измерения сыпучего материала. К многоканальным КВ отнесем такие весы, в конструкции которых больше двух, например три или четыре, однороликовых ГУ или весовых платформ. Такое модульное построение КВ давно используется в мировой практике. В основу поверки многоканальных КВ может быть положен принцип поверки двухканальных КВ эталонным грузом без остановки технологического процесса [1].

Все ГУ можно разделить на два основных типа — с плоскопараллельным (поступательным) и угловым перемещением [2]. В общем случае при расчёте массы сыпучего материала, имитируемой эталонным грузом массой  $m_r$ , необходимо предварительное определение коэффициента калибровки  $k_k$  точки установки груза в пространственной кон-

струкции ГУ с учётом его геометрических параметров и угла наклона конвейера.

Для ГУ с угловым перемещением коэффициент  $k_k$  — отношение двух моментов сил относительно шарнирной опоры в рычажной конструкции: момента веса сыпучего материала, приложенного к верхним образующим среднего и боковых роликов весовой желобчатой роликоопоры, и момента веса эталонного груза. При равенстве веса сыпучего материала и веса эталонного груза коэффициент  $k_k$  будет являться отношением плеч действия этих сил относительно шарнирной опоры ГУ. Поэтому при расчёте имитируемой линейной плотности материала  $q_{им} = k_k m_r / l_b$ , где  $l_b$  — длина весового участка ГУ, величину  $k_k m_r$  можно считать эффективной массой эталонного груза. Из-за сложности точного определения коэффициента  $k_k$  при расчёте  $q_{им}$  будет присутствовать дополнительная методическая погрешность.

Для ГУ с плоскопараллельным перемещением  $k_k=1,0$ . В силу этого эффективная масса эталонного груза будет равна его действительному значению  $m_r$  вне зависимости от геометрических параметров весовой платформы, угла наклона конвейера и точки установки груза. Таким образом, ГУ с плоскопараллельным перемещением можно считать более приемлемыми при косвенной поверке КВ с помощью эталонного груза. В настоящее время среди однороликовых ГУ широкое распространение получили конструкции, в которых весовая роликоопора держится на двух или только на одном консольном параллелограммном датчике, однако в последнем случае в конструкции использован внешний силовой параллелограмм для придания ей в целом статической устойчивости.

**Схемы многоканальных КВ.** На рис. 1 представлена схема КВ с четырьмя однороликовыми ГУ. Она включает отдельные блоки аналого-цифрового преобразования АЦП1—АЦП4 для каждого канала измерений. Окончательный результат взвешивания материала определяется блоком обработки информации БОИ как среднее значение по

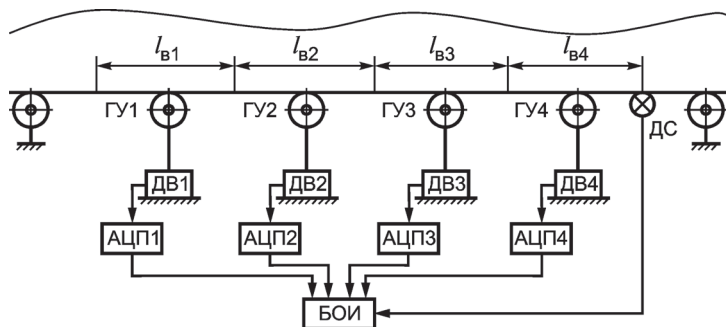


Рис. 1. Схема КВ с четырьмя однороликовыми ГУ:

ГУ1—ГУ4 — грузоприёмные устройства; ДВ1—ДВ4 — силоизмерительные датчики; АЦП1—АЦП4 — аналого-цифровые преобразователи; ДС — датчик скорости; БОИ — блок обработки информации

всем каналам. Данную схему многоканальных КВ можно представить в виде двух двухканальных КВ, причем первый и второй каналы измерений будем относить к первым двухканальным КВ, а третий и четвёртый — ко вторым.

Проверка предложенных многоканальных КВ требует нахождения методической погрешности из-за взаимовлияния между первым и вторым, а также между третьим и четвёртым каналами измерений по фактору натяжения конвейерной ленты при их неодновременном догружении эталонным грузом. Этапы проверки представлены на рис. 2. Предварительно определяются коэффициенты соотношения чувствительностей первой и второй пары каналов измерений, т. е.  $\gamma_{12} = Q_1/Q_2$ ,  $\gamma_{34} = Q_3/Q_4$ , где  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  — показания каналов измерений за выбранное время проверки  $t_n$  при транспортировании материала по ленте конвейера. Процесс начинается с одновременной проверки обоих двухканальных КВ (см. рис. 2, а) путем одновременного догружения эталонными грузами первого и третьего ГУ. При этом за время  $t_n$  фиксируются показания всех каналов измерений соответственно  $Q_{1(м+г)}, Q_{2м}^*, Q_{3(м+г)}, Q_{4м}^*$ .

Показания первого канала на эталонном грузе и имитируемая грузом масса материала определяются следующими выражениями:

$$Q_{1г} = Q_{1(м+г)} - \gamma_{12} Q_{2м}^*; Q_{1им} = m_g v T_n / l_{в1}, \quad (1)$$

где  $l_{в1}$  — длина весового участка первого ГУ;  $v$  — скорость конвейерной ленты.

Коэффициент коррекции первого канала измерения:

$$k_{1к} = Q_{1им} / Q_{1г} = Q_{1им} / (Q_{1(м+г)} - \gamma_{12} Q_{2м}^*). \quad (2)$$

Показания третьего канала на эталонном грузе и имитируемая грузом масса материала:

$$Q_{3г} = Q_{3(м+г)} - \gamma_{34} Q_{4м}^*; Q_{3им} = m_g v T_n / l_{в3}, \quad (3)$$

где  $l_{в3}$  — длина весового участка третьего ГУ.

Коэффициент коррекции третьего канала измерения:

$$k_{3к} = Q_{3им} / Q_{3г} = Q_{3им} / (Q_{3(м+г)} - \gamma_{34} Q_{4м}^*). \quad (4)$$

На следующем этапе эталонными грузами одновременно догружаются второе и четвёртое ГУ (см. рис. 2, б). При этом за время  $t_n$  фиксируются следующие показания каналов измерения:  $Q_{1м}^*, Q_{2(м+г)}, Q_{3м}^*, Q_{4(м+г)}$ .

По аналогии с изложенным подходом по формулам (1)–(4) могут быть получены коэффициенты коррекции второго и четвёртого каналов измерений:

$$k_{2к} = Q_{2им} / (Q_{2(м+г)} - Q_{1м}^* / \gamma_{12}); \quad (5)$$

$$k_{4к} = Q_{4им} / (Q_{4(м+г)} - Q_{3м}^* / \gamma_{34}), \quad (6)$$

где  $Q_{2им} = m_g v T_n / l_{в2}$ ,  $Q_{4им} = m_g v T_n / l_{в4}$  — имитируемые эталонным грузом массы материала для второго и четвёртого каналов измерений;  $l_{в2}, l_{в4}$  — длины весовых участков второго и четвёртого ГУ.

В целом коэффициент коррекции КВ с четырьмя однороликовыми ГУ с учётом (2), (4)–(6) имеет вид

$$k_k = (k_{1к} + k_{2к} + k_{3к} + k_{4к}) / 4.$$

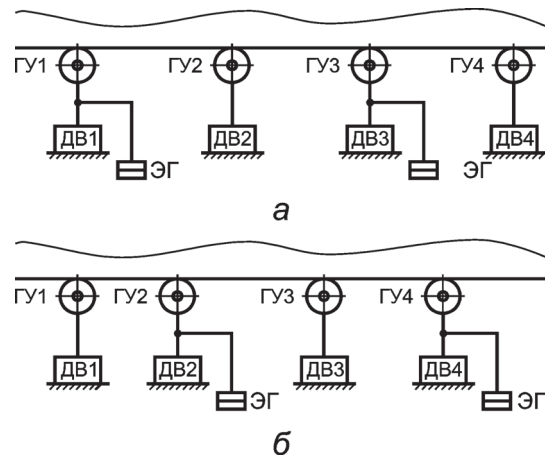


Рис. 2. Этапы проверки КВ с четырьмя однороликовыми ГУ: а, б — первый и второй, соответственно; ЭГ — эталонный груз

Систематическую погрешность КВ из-за просадки силоизмерительного датчика в общем виде можно записать как

$$\delta_c = 2\sigma / [n(c l_b + \sigma)], \quad (7)$$

где  $n$  — количество весовых роликоопор;  $c$  — жёсткость силоизмерительного датчика;  $\sigma$  — натяжение конвейерной ленты.

Систематическая погрешность для рассматриваемой конструкции весов:

$$\delta_c = \sigma / [2(c l_b + \sigma)]. \quad (8)$$

Методическая погрешность проверки из-за взаимовлияния каналов измерений по фактору натяжения ленты в данном варианте проверки определяется выражением [1]:

$$\delta_m = 3\sigma / (c l_b - 3\sigma).$$

Выразим методическую погрешность из-за взаимовлияния каналов измерения через систематическую погрешность КВ. В этом случае с достаточной для расчётов точностью можно принять  $\delta_m \approx 7\delta_c$ . Тогда для двух двухканальных КВ (КВ с четырьмя однороликовыми ГУ) методическую погрешность взаимовлияния каналов определим как

$$\delta_m \approx 14\sigma / [n(c l_b + \sigma)] = 3,5\sigma / (c l_b + \sigma). \quad (9)$$

Погрешность проверки четырёхканальных КВ с учётом (9):

$$\delta_n = [k_k / (1 + \delta_m - 1)] \cdot 100. \quad (10)$$

При измерениях на этапах проверки и последующем определении коэффициентов коррекции с использованием предварительно рассчитанных значений  $\gamma_{12}, \gamma_{34}$  погрешность косвенного метода проверки будет отличаться от погрешности прямого метода с помощью взвешенного материала на значение заданной погрешности имитации грузопотока при выборе массы эталонного груза. При этом одним из условий проверки должно оставаться соблюдение идентичности метрологических характеристик всех отдельных ГУ, входящих в состав КВ, при изменении производительности конвейера.

Если при расчётах коэффициентов коррекции, например, для первых двухканальных КВ вместо значения  $\gamma_{12}$  использовать ряд близких к нему значений коэффициентов ( $\gamma_{12} \pm \Delta\gamma$ ,  $\gamma_{12} \pm 2\Delta\gamma$  и т. д.) и подставить их в (1), (2), (5), то можно получить соответствующий ряд коэффициентов коррекции и построить графическую зависимость  $k_k = f(\gamma)$ .

Вид зависимости  $k_k = f(\gamma)$  в конкретных условиях монтажа весов на конвейере обусловлен метрологическими характеристиками отдельных ГУ, параметрами ленты и конвейера. Они всегда будут зависимостями параболического типа с точкой минимума с соответствующим значением коэффициента  $k_k$ , при котором обеспечивается минимизация погрешности поверки, однако могут иметь разную крутизну.

Представим зависимость  $k_k = f(\gamma)$  для первых двухканальных КВ следующим образом:

$$k_k = \frac{(k_{1k} + k_{2k})}{2} = \frac{1}{2} \left( \frac{Q_{1им}}{Q_{1(м+г)} - \gamma_{12} Q_{2м}^*} + \frac{Q_{2им}}{Q_{2(м+г)} - Q_{1м}^* / \gamma_{12}} \right). \quad (11)$$

Продифференцировав (11) по  $\gamma_{12}$ , приравняв полученное выражение к нулю и решив его относительно  $\gamma_{12}$ , можно получить

$$\gamma_{12} = \frac{Q_{1м}^* \sqrt{Q_{1им} Q_{2м}^*} + Q_{1(м+г)} \sqrt{Q_{2им} Q_{1м}^*}}{Q_{2(м+г)} \sqrt{Q_{1им} Q_{2м}^*} + Q_{2м}^* \sqrt{Q_{2им} Q_{1м}^*}}. \quad (12)$$

При равенстве длин весовых участков первого и второго ГУ имеем равенство имитируемых масс материала, т. е.  $Q_{1им} = Q_{2им}$ . При этом уравнение (12) можно записать как

$$\gamma_{12} = \frac{Q_{1м}^* \sqrt{Q_{2м}^*} + Q_{1(м+г)} \sqrt{Q_{1м}^*}}{Q_{2м}^* \sqrt{Q_{1м}^*} + Q_{2(м+г)} \sqrt{Q_{2м}^*}}.$$

Соответственно, при равенстве длин весовых участков третьего и четвертого ГУ ( $Q_{3им} = Q_{4им}$ ) коэффициент  $\gamma_{34}$  имеет вид

$$\gamma_{34} = \frac{Q_{3м}^* \sqrt{Q_{4м}^*} + Q_{3(м+г)} \sqrt{Q_{3м}^*}}{Q_{4м}^* \sqrt{Q_{3м}^*} + Q_{4(м+г)} \sqrt{Q_{4м}^*}}.$$

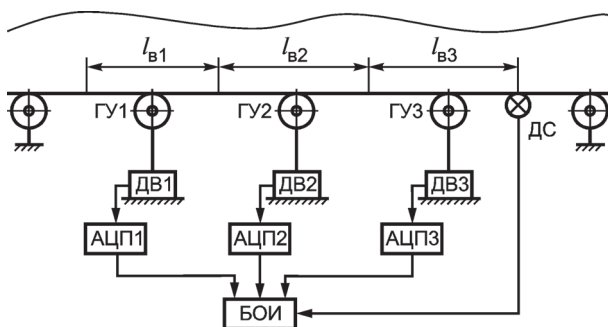


Рис. 3. Схема КВ с тремя однороликовыми ГУ (см. подпись к рис. 1)

Если количество каналов измерений в многоканальных КВ нечётное, то их нельзя полностью сгруппировать в схемы отдельных двухканальных КВ. На рис. 3 представлена схема КВ с тремя однороликовыми ГУ. В данном варианте предлагается следующий подход к проведению поверки трёхканальных КВ. При транспортировании сыпучего материала конвейером за время  $t_n$  фиксируют показания каналов измерений  $Q_1, Q_2, Q_3$ , и по ним определяют следующие соотношения чувствительностей:  $\gamma_{21} = Q_2/Q_1, \gamma_{23} = Q_2/Q_3$ .

На первом этапе второе ГУ догружается эталонным грузом и за время  $t_n$  фиксируют показания первого, второго и третьего каналов измерений:  $Q_{1м}^*, Q_{2(м+г)}^*, Q_{3м}^*$ .

Показания второго канала на эталонном грузе определяются двумя выражениями:

$$[Q_{2г}]_1 = Q_{2(м+г)} - \gamma_{21} Q_{1м}^*; [Q_{2г}]_3 = Q_{2(м+г)} - \gamma_{23} Q_{3м}^*. \quad (13)$$

На основании (13) для второго канала измерения можно рассчитать два коэффициента коррекции:

$$[k_{2к}]_1 = Q_{2им} / (Q_{2(м+г)} - \gamma_{21} Q_{1м}^*),$$

$$[k_{2к}]_3 = Q_{2им} / (Q_{2(м+г)} - \gamma_{23} Q_{3м}^*). \quad (14)$$

На втором этапе эталонным грузом догружают первое ГУ и за время  $t_n$  фиксируют показания первого и второго каналов измерений:  $Q_{1(м+г)}^*, Q_{2м}^*$ . Показания первого канала измерения на эталонном грузе и коэффициент коррекции канала:

$$Q_{г} = Q_{1(м+г)}^* - Q_{2м}^* / \gamma_{21};$$

$$k_{1к} = Q_{1им} / Q_{1г} = Q_{1им} / (Q_{1(м+г)} - Q_{2м}^* / \gamma_{21}). \quad (15)$$

На третьем этапе эталонным грузом догружают третье ГУ и за время  $t_n$  фиксируют показания второго и третьего каналов измерений:  $Q_{2м}^*, Q_{3(м+г)}^*$ . Показания третьего канала измерения на эталонном грузе и коэффициент коррекции канала:

$$Q_{3г} = Q_{3(м+г)}^* - Q_{2м}^* / \gamma_{23};$$

$$k_{3к} = Q_{3им} / Q_{3г} = Q_{3им} / (Q_{3(м+г)} - Q_{2м}^* / \gamma_{23}). \quad (16)$$

В целом коэффициент коррекции КВ с тремя однороликовыми ГУ с учётом (14)–(16):

$$k_k = (2k_{1к} + [k_{2к}]_1 + [k_{2к}]_3 + 2k_{3к}) / 6.$$

Поскольку между вторым и первым, а также между вторым и третьим ГУ отсутствует промежуточная стационарная роликоопора, то в полученный коэффициент  $k_k$  вводится поправка на взаимовлияние каналов измерений по фактору натяжения ленты.

Систематическая погрешность КВ с тремя однороликowymi ГУ из-за просадки силоизмерительного датчика в соответствии с (7):

$$\delta_c = 2\sigma/3(c l_B + \sigma). \quad (17)$$

Методическая погрешность в данном варианте поверки трехканальных КВ определяется выражением:

$$\delta_m = 3\sigma/(c l_B - 3\sigma).$$

С достаточной для расчётов точностью можно принять  $\delta_m \approx 4,5\delta_c$ . Поэтому выражение для методической погрешности с учётом (17):

$$\delta_m = 2\sigma/(c l_B + \sigma).$$

Погрешность поверки будет определяться выражением (10).

Массу эталонного груза при поверке многоканальных КВ рассчитывают по аналогии с зависимостью, полученной для массы груза при поверке двухканальных КВ [1]:

$$m_r = G \delta_{im}/\delta_c, \quad (18)$$

где  $G$  — масса материала на весовом участке ленты;  $\delta_{im}$  — задаваемая погрешность имитации сыпучего материала;  $\delta_c$  — систематическая погрешность КВ.

Проведем сравнительную оценку масс эталонного груза для двух рассмотренных вариантов поверки многоканальных КВ (с четырьмя и тремя однороликowymi ГУ). При одинаковых параметрах конвейера и ГУ ( $c$ ,  $\sigma$ ,  $l_B$ ) отношение систематических погрешностей по (8) и (17) при равных значениях массы сыпучего материала на весовом участке ленты и заданной погрешности имитации грузопотока будет равно 0,75. Поэтому при поверке четырёхканальных КВ массу эталонного груза можно увеличить на 25 % по сравнению с массой груза при поверке трёхканальных КВ.

С ростом количества каналов измерений уменьшается систематическая погрешность КВ, что позволяет в соответствии с (18) увеличить массу эталонного груза. Это, в свою очередь, повышает чувствительность и воспроизводимость при измерении имитируемой массы материала и снижает погрешность дискретности и среднее квадратическое отклонение результатов измерений при статистической обработке данных.

Предложенные методы поверки многоканальных КВ являются методами повышения точности измерений, которые основаны на создании дополнительных каналов измерений массы и введении в измерительную систему тестового воздействия. В качестве такого воздействия в случае измерения массы движущегося на конвейере сыпучего материала используются эталонные грузы. Обработка результатов измерений позволяет получить дополнительную информацию о погрешностях измерений и исключить их из результатов измерений [3].

Применение многоканальных КВ на производстве должно определяться необходимостью повышения точности измерения массы материала при отсутствии поверки прямым способом по стандарту [4] и возможностью встраивания таких КВ в существующие конвейерные магистрали.

Проведенные экспериментальные исследования косвенного способа поверки двухканальных КВ на испытательном лабораторном оборудовании показали, что диапазон погрешности поверки в сравнении со взвешенным материалом составляет (0,1—0,3) %. В качестве испытательного оборудования использовали конвейерный полигон с замкнутым грузопотоком, состоящий из нескольких ленточных конвейеров и перегружателей. Полигон был спроектирован с использованием методов подобию [5].

Однако для практического применения предложенные методики поверки должны быть утверждены в установленном порядке с последующим проведением сравнительных экспериментальных исследований в реальных производственных условиях.

## Л и т е р а т у р а

1. **Галин И. А., Донис В. К.** Поверка конвейерных весов непрерывного действия эталонными грузами без остановки технологического процесса // *Измерительная техника*. 2014. № 8. С. 27—31.
2. **Карпин Е. Б.** Средства автоматизации для измерения и дозирования массы. М.: Машиностроение, 1971.
3. **Бромберг Э. М., Куликовский К. Л.** Тестовые методы повышения точности измерений. М.: Энергия, 1978.
4. **ГОСТ 8.005—2002.** ГСИ. Весы непрерывного действия конвейерные. Методика поверки.
5. **Донис В. К., Бочаров А. В., Галин И. А.** Применение теории подобию к исследованию процессов измерения и дозирования массы // *Метрология*. 1997. № 9. С. 30—37.

Дата принятия 07.05.2015 г.