УДК 621.392

СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ ДЛЯ ПЛАТФОРМНИХ ВАГ З УДОСКОНАЛЕНИМ АЛГОРИТМОМ КУТОВОЇ КОРЕКЦІЇ

Куценко О.В.[1]; Павлов О.Л., к.т.н., доц.[2]
[1,2]Національний університет «Одеська політехніка»
[1,2]Україна, Одеса
[1]8995104@stud.op.edu.ua; [2]oleksii.pavlov@op.edu.ua

Анотація. *Описано ефективний алгоритм калібрування платформних ваг з кількома тензодатчиками. Розглянуто традиційний підхід до обробки сигналу від датчиків та запропоновано удосконалення алгоритму калібрування в процесі зважування. Показані переваги запропонованого алгоритму, які були підтверджені на практиці.*
Ключові слова: *тензодатчик; калібрування; платформні ваги.*

Вступна частина. Ваги з конструкцією, у якій вагова платформа спирається на кілька тензодатчиків, є поширеним рішенням для високоточного зважування, особливо у випадках із важкими та великогабаритними вантажами. Традиційно цей процес є трудомістким і потребує значних витрат часу, оскільки вимагає багаторазового навантаження та розвантаження ваги еталонними гирями. Це особливо ускладнює калібрування великотоннажних систем, де загальна вага еталонів може сягати десятків тон.

Метою даної роботи є розробка алгоритму, який істотно скорочує тривалість калібрування та необхідні зусилля, усуваючи потребу у повторному завантаженні еталонних гир під час зважування.

Основна частина. Як правило, конструкція таких ваг (показана на рис. 1) складається з вагової платформи 1, яка спирається на чотири тензодатчики В1, В2, В3, В4, розташовані по кутах. Для забезпечення точності такі ваги потребують складного процесу калібрування, який включає як корекцію похибки зміщення (нерівномірність чутливості при різному розподілі навантаження), так і калібрування загального діапазону вимірювання.

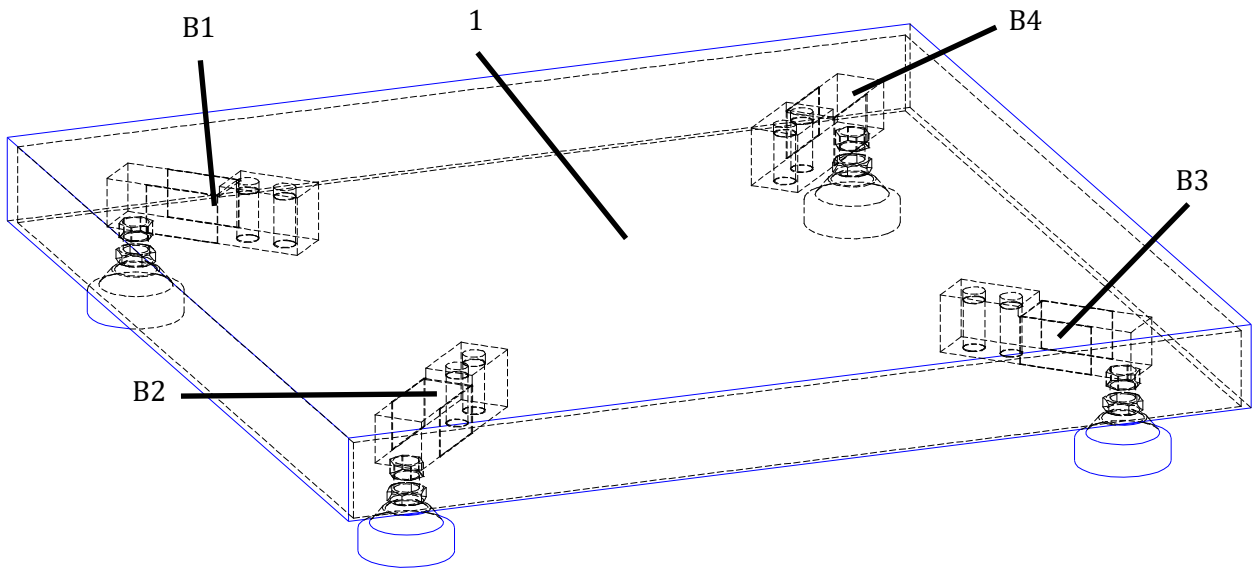

Рис.1 – Загальний вигляд вагової платформи

Загальний принцип обробки сигналу

Незалежно від методу калібрування, кінцеве значення ваги обчислюється за єдиним принципом. Вагова платформа підтримується певною кількістю тензодатчиків.

Послідовність обчислень показана на рис.2 Основним критерієм ефективності пристрою є мінімізація ймовірності помилок першого (відмова авторизованому користувачу) та другого роду (допуск неавторизованого користувача).

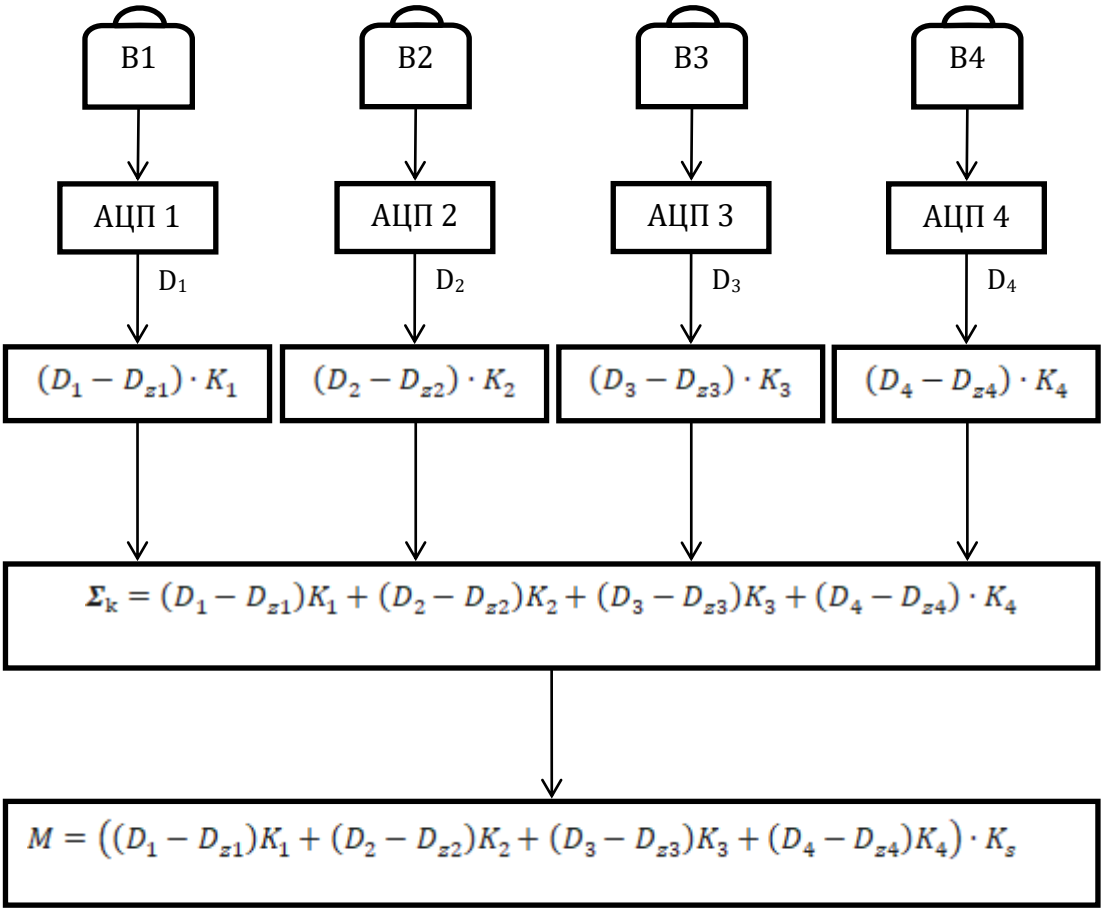

Рис.2 – Блок-схема обробки сигналу від тензодатчиків

Традиційний алгоритм розрахунку складається з наступних кроків:

1) отримання сигналу: кожен аналого-цифровий перетворювач (АЦП1-АЦП4) до якого підключений відповідний аналоговий тензодатчик (B1-B4) видає вихідний цифровий сигнал D_1,D_2,D_3,D_4;

2) корекція нуля (тари): від кожного сигналу віднімається раніше збережене значення нульового навантаження D_{z1},D_{z2},D_{z3},D_{z4};

3) корекція похибки зміщення: отримані різниці множаться на відповідні коефіцієнти корекції K_1,K_2,K_3,K_4, які компенсують нерівномірність чутливості по кутах платформи;

4) сумування: усі скориговані значення додаються;

5) корекція діапазону: загальна сума множиться на єдиний коефіцієнт діапазону K_s, щоб привести покази у відповідність до еталонної ваги.

Кінцеву формулу (1) для розрахунку ваги *M*, що є результатом цього процесу:

$$M = \left((D_1 - D_{z1})K_1 + (D_2 - D_{z2})K_2 + (D_3 - D_{z3})K_3 + (D_4 - D_{z4})K_4\right) \cdot K_s, \quad (1)$$

можна записати у вигляді загальної формули для n датчиків:

$$M = \left(\sum_{i=1}^{n} (D_i - D_{zi})\, K_i)\right) \cdot K_s,$$

Ключове завдання калібрування - точно визначити ці коефіцієнти корекції похибки зміщення $K_1 \ldots K_n$ та коефіцієнт діапазону K_s.

Стандартний підхід до калібрування вимагає трьох окремих операцій із завантаженням еталонних гир. Для цього використовуються чотири контрольні точки по кутах платформи і одна у її центрі.

Крок 1. Визначення тимчасового діапазону

Спочатку на центр платформи розміщують відоме еталонне навантаження (гирю) масою m_s. Використовуючи початкові або тимчасові коефіцієнти корекції кутів, система розраховує тимчасовий коефіцієнт діапазону за формулою (2):

$$[(D_{s1} - D_{z1})K_1' + (D_{s2} - D_{z2})K_2' + (D_{s3} - D_{z3})K_3' + (D_{s4} - D_{z4})K_4'] \cdot K_s' = m_s, \quad (2)$$

На цьому етапі ваги показують точну вагу лише тоді, коли вантаж знаходиться строго в центрі.

Крок 2. Корекція похибки зміщення (кутів)

Далі, гирю масою m_s знімають. Замість неї використовують меншу еталонну вагу (гирю) m_k. Цю гирю послідовно розміщують у кількох визначених точках на платформі, що відповідають зонам впливу відповідного тензодатчика.

Кожне розміщення дає змогу отримати рівняння:

$$m_k = (D_{s11} - D_{z1})K_1 + (D_{s21} - D_{z2})K_2 + (D_{s31} - D_{z3})K_3 + (D_{s41} - D_{z4})K_4, \quad (3)$$

$$m_k = (D_{s12} - D_{z1})K_1 + (D_{s22} - D_{z2})K_2 + (D_{s32} - D_{z3})K_3 + (D_{s42} - D_{z4})K_4, \quad (4)$$

$$m_k = (D_{s13} - D_{z1})K_1 + (D_{s23} - D_{z2})K_2 + (D_{s33} - D_{z3})K_3 + (D_{s43} - D_{z4})K_4, \quad (5)$$

$$m_k = (D_{s14} - D_{z1})K_1 + (D_{s24} - D_{z2})K_2 + (D_{s34} - D_{z3})K_3 + (D_{s44} - D_{z4})K_4, \quad (6)$$

Розв'язавши цю систему з чотирьох лінійних рівнянь, визначають дійсні коефіцієнти корекції K_1, K_2, K_3, K_4.

Крок 3. Визначення дійсного діапазону

Після того, як тимчасові коефіцієнти K' замінюються на дійсні K, загальний вихідний сигнал ваг змінюється. Це означає, що тимчасовий коефіцієнт K_s' більше не є коректним.

У традиційному методі для визначення дійсного коефіцієнта K_s необхідно знову виконати Крок 1 - тобто повторно завантажити важку гирю масою m_s у центр платформи, щоб задовольнити рівняння (7):

$$[(D_{s1} - D_{z1})K_1 + (D_{s2} - D_{z2})K_2 + (D_{s3} - D_{z3})K_3 + (D_{s4} - D_{z4})K_4] \cdot K_s = m_s, \quad (7)$$

Це повторне завантаження і є найбільш трудомісткою частиною процесу.

Удосконалений алгоритм

Новий підхід дозволяє уникнути повторного завантаження важкої гирі, замінивши його математичним розрахунком.

Крок 1. Завантаження для діапазону (виконується тільки один раз)

Як і раніше, відоме навантаження m_s розміщується в центрі платформи. Система записує вихідні сигнали $D_{s1}, D_{s2}, D_{s3}, D_{s4}$ і, використовуючи тимчасові коефіцієнти K_i', обчислює тимчасовий коефіцієнт K_s' за формулою (1). Після цього важка гиря знімається і більше не потрібна.

Крок 2. Корекція похибки зміщення (кутів)

Цей етап виконується ідентично до традиційного методу: менша гиря m_k послідовно розміщується в кутах платформи, і система обчислює дійсні коефіцієнти K_1, K_2, K_3, K_4, використовуючи систему з чотирьох лінійних рівнянь (2)…(5).

Крок 3. Розрахунок дійсного діапазону (без завантаження)

Тут виконується ключове вдосконалення. Нам відомо, що вимірювання на Кроці 1 (з тимчасовими K_i' та K_s') і теоретичне вимірювання (з дійсними K_i та K_s) повинні дорівнювати одній і тій же еталонній вазі m_s.

Це означає, що ми можемо використати рівняння (2) і (7), та виходячи з цього, алгебраїчно виразити дійсний коефіцієнт K_s через уже відомі величини, як показано в (8):

$$K_s = \frac{(D_{s1} - D_{z1})K_1' + (D_{s2} - D_{z2})K_2' + (D_{s3} - D_{z3})K_3' + (D_{s4} - D_{z4})K_4'}{(D_{s1} - D_{z1})K_1 + (D_{s2} - D_{z2})K_2 + (D_{s3} - D_{z3})K_3 + (D_{s4} - D_{z4})K_4} \cdot K_s', \quad (8)$$

У цьому рівнянні всі значення вже відомі:

D_s, D_z – виміряні сигнали з Кроку 1.

K_i' та K_s' – тимчасові коефіцієнти з Кроку 1.

K_1, K_2, K_3, K_4 – дійсні коефіцієнти, отримані на Кроці 2.

Таким чином, дійсний коефіцієнт діапазону K_s обчислюється миттєво, без будь-яких додаткових фізичних маніпуляцій з гирями.

Висновки

Головна перевага цього алгоритму полягає в значній економії часу та зусиль. Виключивши найбільш трудомісткий етап - повторне завантаження важкої еталонної гирі - процес калібрування стає набагато швидшим та ефективнішим. Цей підхід є універсальним, оскільки може застосовуватися як під час початкового встановлення ваг, так і під час їх періодичної повірки або калібруванні. Крім того, алгоритм не обмежується лише чотирма тензодатчиками і може бути адаптований для систем із будь-якою їх кількістю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Пастущин, Л.Б. (2016). Розробка типового методу калібрування неавтоматичних зважувальних приладів. *Методи та прилади контролю якості,* 1(36), 76-80.

[2] Jindal, U.C. (2013). *Experimental Stress Analysis*. O'Reilly.

[3] Коломеєць, Л. В. (2025) Mathematical model and algorithm for compensation of systematic errors of coordinate measuring machines. *System technologies,* 2(157), 112–119.

Kutsenko O.V., Pavlov O.L.

Data collection system for platform scale with advanced angle correction algorithm

Annotation. *An effective algorithm for calibrating platform scales with multiple strain gauges is described. The traditional approach to signal processing from the sensors is considered and an improvement of the calibration algorithm in the weighing process is proposed. The advantages of the proposed algorithm, which have been confirmed in practice, are shown..*

Keywords: *strain gauge; calibration; platform scales.*