

## СЕКЦІЯ 9 МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

УДК 531.424

### АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ ГИР НА КОМПАРАТОРІ МАСИ ССЕ66

*Ціпоренко С. В.*

*Державне підприємство "Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів"*

*(ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»), Київ, Україна*

*E-mail: [s\\_tsiporenko@ukrcsm.kiev.ua](mailto:s_tsiporenko@ukrcsm.kiev.ua)*

Удосконалення національних еталонів є одним із найважливіших завдань, покладених на наукові метрологічні центри. Так, з метою постійного підтримування рівня сучасного метрологічного інституту та прагнення побудувати повністю автоматизовану лабораторію еталонів маси у ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» розроблено систему для переміщення, навантажування та розвантажування мір маси під час їх порівняння на високоточному компараторі маси ССЕ66.

Метою даної роботи було розробити проект конструкції повністю автоматичної системи поводження з гирями в діапазоні від 50 г до 10 г (далі – система). Система включає магазин накопичувач, робот маніпулятор, проміжну платформу, блок керування та раму, на якій змонтовані дані елементи конструкції (рис. 1).

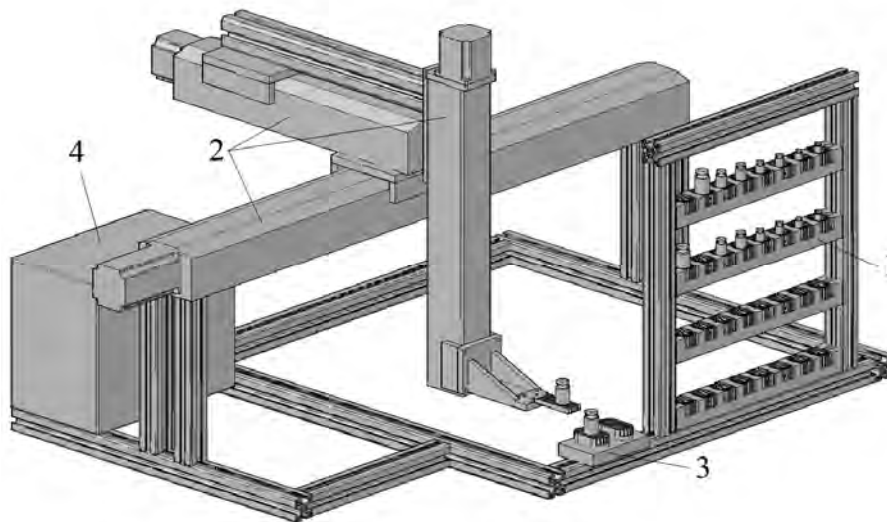


Рис. 1. Загальний вигляд автоматичної системи для порівняння мір маси на компараторі маси ССЕ66

Магазин накопичувач (1) призначений для зберігання еталонних та випробних гир. Загальна місткість магазину складає 32 гирі. Гирі в магазині розміщує оператор.

Робот маніпулятор (2) забезпечує переміщення гир з магазину до проміжної платформи, від проміжної платформи до компаратора та у зворотному напрямку. Крім того, робот маніпулятор по чергово розміщує еталонну та випробну гирі на вантажоприймальній платформі компаратора маси та знімає гирі з неї. Робот маніпулятор складається з трьох модулів лінійного переміщення на базі кулькогвинтових передач та крокових двигунів. Крокові двигуни забезпечують переміщення виконавчого органу робота на задану відстань у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках.

Проміжна платформа (3) слугує для розміщення еталонної та випробної гир, маси яких порівнюють. Окрім того, у якості еталонної або випробної гирі може бути обрано комбінацію гир, наприклад 20 г, 10 г та 20 г, з метою реалізації методу калібрування вниз.

Блок керування роботою системи (4) включає драйвери крокових двигунів, датчики кінцевого положення модулів переміщення, контролер на базі плати Arduino Mega R3, дисплею, клавіатури та ПЕОМ, яку використовують для введення основних параметрів процесу порівняння гир.

До найбільш очевидних переваг даної системи можна віднести:

- відсутність оператора під час калібрування гир;
- підвищення точності вимірювань за рахунок виключення невизначеності, обумовленої оператором;
- можливість проведення вимірювань в будь-який період доби;
- можливість порівняння як одиночних гир, так і комбінацій із них.

*Ключові слова:* гирі, компаратор маси, робот, еталон, автоматизація.

УДК 531.421

## ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МАСИ

*Зайцев В. М.*

*Національний технічний університет України*

*“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна*

*E-mail: [viniza@ukr.net](mailto:viniza@ukr.net)*

Особливості застосування фундаментальних законів фізики при вимірюванні маси пояснюються через парадокси, які обумовлені традиційністю формулювань функціональних залежностей або невизначеністю в повній мірі аргументів цих законів.

Застосування основних законів фізики розглядаються на прикладі найпоширеніших в теперішній час ваговимірювальних систем на основі тензорезисторних ваговимірювальних перетворювачів колонного типу висотою 150 мм. Ці перетворювачі мають пружний чутливий елемент (ПЧЕ) стрижневого типу довжиною  $l_0=120$  мм та чутливість - робочий коефіцієнт перетворення (РКП) - 2,0 мВ/В при навантаженні масою, яка відповідає найбільшій границі зважування (НГЗ). Всі похибки  $\delta_x$  в доповіді представлені в

порівнянні з границею допустимих похибок цих датчиків категорії точності С3 -  $\square_0=0,017\%$  числовим параметром  $\lambda = \delta_x/\delta_0$ .

Фундаментальні закони фізики використовуються при побудові математичних моделей ваговимірювальних перетворювачів в наступній послідовності: трансформація маси в вагу (закони Ньютона, закон Архімеда), трансформації ваги в відносну деформацію (закон Гука), трансформація відносної деформації в відносну зміну опору (формули Томсона), трансформація відносної зміни опору в робочий коефіцієнт перетворення мостової схеми (закон Ома).

Парадокс 1. Фізична величина «маса» визначена двічі, як різні властивості тіл в різних фундаментальних законах - Мін в другому законі Ньютона як міра інертних властивостей та  $M_{gr}$  в законі всесвітнього тяжіння як міра гравітаційних властивостей тіл [I. Newton, 1687]. Тому існують методи вимірювання маси, в яких вона проявляє інерційні властивості (динамічні методи) та методи, в яких вона проявляє гравітаційні властивості (статичні методи). Вважають, що за перших визначається інерційна маса, за других – гравітаційна. Зважувальний прилад – вимірювальний прилад, призначений, щоб визначити масу тіла, використовуючи силу ваги, створену цим тілом [ДСТУ EN 45501:2017]. Далі масою будемо вважати гравітаційну масу.

Парадокс 2. Тіла з однаковою масою в одній точці простору мають різну вагу, якщо вони виготовлені з різних матеріалів. Вага тіла залежить не тільки від маси та прискорення вільного падіння, а і від густини матеріалів, з яких вони виготовлені. Причина різниці – дія виштовхувальних сил повітря, які залежать від об'єму тіл та густини повітря [Архімед]. Різниця між вагою сталі ( $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ ) та нафти ( $\rho = 795 \text{ кг/м}^3$ ) у повітрі ( $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ) становить  $\square_x = 0,14\%$ , що перевищує  $\square_0$  в  $\lambda = 8$  разів.

Тобто за умови, що ваги вимірюють гравітаційну масу тіл, в залежності від матеріалу тіла та густини повітря, результат зважування має методичні похибки на порядок більші за похибки технічних засобів, які застосовуються в процесі вимірювання.

Розглянуто визначення поняття «умовної маси» згідно OIML D 28, поняття «зважування» згідно OIML R76 та зменшення методичних похибок після калібрування ваг мірами маси з контрольованою густиною.

Парадокс 3. При побудові математичних моделей ПЧЕ використовують класичний вираз для закону Гука  $\epsilon = \sigma / E$ , де  $\epsilon = \Delta l / l_0$  – відносна деформація;  $\Delta l$  – абсолютна деформація;  $l_0$  – початкова довжина;  $E$  – модуль пружності матеріалу ПЧЕ;  $\sigma = G/S$  – нормальні напруження в ПЧЕ, де  $G$  – навантаження (вага тіла);  $S$  – площа поперечного перерізу ПЧЕ [R. Hooke, 1678].

Вимога забезпечення чутливості перетворювача РКП=2,0 мВ/В при НГЗ, вимагає забезпечити номінальне значення відносної деформації ПЧЕ при навантаженні  $\Delta l / l_0 = 1500 \text{ ppm}$ . При знятті навантаження, в результаті зміни  $l_0$ , відносна деформація буде більшою на 0,15 %, а значить виникає похибка моделі перетворювача в  $\lambda = 8,6$  разів більша за похибки самого перетворювача  $\square_0$ .

Розглянуті визначення поняття «відносна деформація», «початкова деформація», «ефективна (логарифмічна) деформація Генки», «відносні деформації Ейлера», «деформації Гріна-Лагранжа» в законі Гука, які можливо використовувати для побудови адекватних математичних моделей ваговимірювальних перетворювачів.

Парадокс 4. В нормативно-технічних документах та науково-технічній літературі [наприклад, Н. Клокова, 1990] залежність між відносними змінами опору тензорезистора та відносною деформацією визначається залежністю

$$\int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R} = K_T \cdot \int_{l_0}^{l_0+\Delta l} \frac{dl}{l} = K_T \cdot \ln \left( 1 + \frac{\Delta l}{l_0} \right),$$

де  $K_T$  – коефіцієнт тензочутливості.

Тобто тензорезистор трактується як перетворювач не «відносної деформації  $\Delta l / l_0$ », а «ефективної логарифмічної деформації Генки». В цей же час при побудові математичних моделей ваговимірювальних перетворювачів використовується виключно модель з скінченими приростами  $\Delta R / R = K_T \Delta l / l_0$  [W. Thomson, 1856]. Відмінність результатів розрахунків метрологічних характеристик, становить  $\square_x = 750$  ppm, що перевищує допустимі границі похибок  $\square_0$  в  $\lambda = 4,3$  рази.

Парадокс 5. При трансформації мостовими схемами залежність між зміною опору  $\Delta R$ , відносних змін опору  $\Delta R / R_0$  тензорезисторів, які розташовані в одному з пліч, в напругу  $U_x$  при живленні напругою носить нелінійний характер. Залежно від способу апроксимації, похибки нелінійності перетворення досягають  $\square_x = 0,5 \cdot \Delta R / R_0$ . Що становить в нашому випадку  $\lambda = 4$  при вимірюванні відносної деформації ПЧЕ. Якщо об'єднати дві останні трансформації та представити функції перетворення тензорезистора через ефективну логарифмічну деформацію, то не лінійності, які носять квадратичний характер, з першого перетворення компенсують нелінійності, які носять квадратичний характер з другого перетворення [M. Kreuzer, 1983]. Залежність між вихідною напругою при живленні мостової схеми напругою та відносною деформацією буде лінійною з точністю до похибок третього порядку малості. Це не відповідає практиці проектування сучасних тензоперетворювачів.

Для побудови адекватної моделі ваговимірювальних перетворювачів всі фундаментальні закони представлені в диференційному вигляді з повною системою початкових умов для розв'язку загальної крайової задачі перетворення маси в вихідний сигнал. Математична модель включає процедуру калібрування перетворювача на машинах прямого навантаження. Побудована модель вільна від методичних похибок, які виникають в результаті некоректного застосування фундаментальних законів.

*Ключові слова:* фундаментальні закони фізики, ваговимірювальні перетворювачі, математична модель.

УДК 681.586.326

## АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ВИМІРЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

*Курочкін О. О.*

*ПП «АНВІТ» - ексклюзивний представник Hottinger Brüel & Kjaer (НВК),*

*Київ, Україна*

*E-mail: [info@anwit.kiev.ua](mailto:info@anwit.kiev.ua)*

Протягом всього періоду розвитку електротензометричних та оптикотензометричних засобів вимірювання фірма HOTTINGER BALDWIN MESTECHNIK (НВМ) є беззаперечним світовим лідером цього процесу. Це відноситься як до створення та серійного виробництва самих тензорезисторів та тензорезисторних вимірювальних перетворювачів механічних величин, так і до створення промислових електронних засобів прецизійного перетворення їх вихідних сигналів.

Технічний рівень розвитку тензорезисторних перетворювачів деформації в теперішній час забезпечує майже принципову границю прецизійності перетворення. Тому підвищення точності результатів вимірювання тензорезисторними перетворювачами пов'язане з застосуванням у вторинній апаратурі перетворення сигналів процесорних елементів, які в цифровій формі реалізують методи корекції систематичних похибок. Ці методи базуються на досвіді застосування та статистичному аналізу отриманих даних для побудови аналітичних моделей похибок та визначення індивідуальних характеристик кожної партії тензорезисторів на підприємстві виробнику.

В доповіді обґрунтована необхідність введення поправок в результати вимірювання деформації на основі моделі температурних похибок вимірювання тензорезисторами, які включені в одне з пліч мостової схеми. Для розв'язку проблеми був створений апаратно-програмний комплекс вимірювання деформацій на базі фольгових тензорезисторів LY, 16 каналного цифрового перетворювача тензосигналів QuantumX MX1615B та спеціальних модулів програмного комплексу SATMAN /Easy/AP. Всі компоненти виробництва фірми Hottinger Brüel & Kjaer.

Програмне забезпечення комплексу має можливість коригування похибок чотирьох типів.

1. Коригування температурних похибок  $\varepsilon_1$  зумовлених зміною опору тензорезистора, коефіцієнта тензочутливості та похибок  $\varepsilon_2$  зумовлених зміною опору провідників від тензорешітки до чотирипровідної схеми під'єднання перетворюючої апаратури.

Підприємство виробник забезпечує кожну партію тензорезисторів експериментально визначеними значеннями коефіцієнтів  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  поліному виду

$$\varepsilon_1 = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot T + \alpha_2 \cdot T^2 + \alpha_3 \cdot T^3, \quad (1)$$

де  $T$  – температура в  $^{\circ}\text{C}$  за МПТШ.

При цьому вказуються похибки апроксимації температурних похибок цим поліномом  $\pm \varepsilon_3$ . Похибки від зміни опору провідників коригуються згідно лінійної залежності від довжини провідників  $l_0$  та різниці температур місця вимірювання  $T_x$  і місця дослідження  $T_{\text{ref}}$ .

$$\varepsilon_2 = \beta_1 \cdot l_0 \cdot (T_x - T_{\text{ref}}),$$

де  $\beta_1$  – числові коефіцієнти, визначені виробником.

2. Коригування похибок зумовлених застосуванням стандартного коефіцієнта тензочутливості  $K_s = 2,0$ .

Щоб скоригувати поправки, які можуть вплинути на температурну компенсацію, слід враховувати реальний коефіцієнт тензочутливості  $K_p$  за наступною формулою:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_1 \cdot \frac{K_s}{K_p}$$

3. Коригування складової сигналу, яка обумовлена різницею в значеннях температурних коефіцієнтів лінійного розширення об'єкту вимірювання ТКЛРо та ТКЛРТ матеріалу підложки/решітки тензорезистора.

Значення поправки визначається за формулою

$$\varepsilon_4 = (\text{TKЛРо} - \text{TKЛРТ}) \cdot (T_x - T_{\text{ref}}).$$

4. Коригування похибок вимірювання, які пов'язані з температурними змінами значення коефіцієнта тензочутливості.

Коригування коефіцієнта тензочутливості застосовується для нескоригованого сигналу деформації, оскільки температурна залежність коефіцієнта тензочутливості вже врахована в поліномі (1).

Формула поправки для коефіцієнта тензочутливості  $K_p$ :

$$K_p = K_{p0} \cdot (1 + \beta_2 \cdot (T - T_{\text{этал.}}))$$

Алгоритм корекції реалізує наступну загальну формулу розглянутих складових похибок

$$\varepsilon_c = \varepsilon \cdot \frac{K_{p0}}{K_p} - (\alpha_0 + \alpha_1 \cdot T + \alpha_2 \cdot T^2 + \alpha_3 \cdot T^3) \cdot \frac{K_s}{K_p} - (\text{TKЛРо} - \text{TKЛРТ}) \cdot (T_x - T_{\text{ref}}) - \beta_1 \cdot (T_x - T_{\text{ref}}).$$

Числові оцінки складових температурних похибок проведемо для  $\varepsilon = 900$  ppm;  $T_x = 90$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ref}} = 23$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha_0 = -21,34$  ppm;  $\alpha_1 = 2,26$  ppm/K;  $\alpha_2 = -7,24 \cdot 10^{-2}$  ppm/K<sup>2</sup>;  $\alpha_3 = 2,61 \cdot 10^{-4}$  ppm/K<sup>3</sup>;  $\beta_1 = 0,0333$  ppm/(mm K);  $\beta_2 = 93$  ppm/K; ТКЛРо = 10.8 ppm/K; ТКЛРТ = 23 ppm/K;  $K_{p0} = 2,08$ ;  $l_0 = 20$  mm. Значення  $\varepsilon_1 = -116$  ppm;  $\varepsilon_2 = 44.6$  ppm;  $\varepsilon_3 = 0.04$  ( $\varepsilon - \varepsilon_1$ ), що становить 4 %;  $\varepsilon_4 = 817$  ppm. Останні значення похибок компенсуються алгоритмічною корекцією.

*Ключові слова:* алгоритмічна корекція похибок, тензорезистор, температурні похибки.

УДК 681.269

## АСПЕКТИ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ ПЛАТФОРМ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАГ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

*Дубневич Т. Г.*

*ТОВ «Київський Ваговий Завод», Київ, Україна*

*E-mail: [konstruktor@kvz.in.ua](mailto:konstruktor@kvz.in.ua)*

ТОВ «Київський ваговий завод» – національний виробник вагового обладнання і конструкцій для складних вагових проектів. Найбільш поширеною продукцією підприємства є автомобільні ваги, що залежно від матеріалу, який використовується у процесі виробництва ваг, можуть бути з залізобетонними або металевими платформами.

Габаритно-масові та конструктивні характеристики вантажо-приймальних платформ відіграють визначальну роль у забезпеченні метрологічних характеристик та техніко-економічних показників ваг. У доповіді приводяться статистичні данні по експлуатації протягом десяти років 120 виготовлених підприємством автомобільних ваг при порівнянні конструкцій та характеристик ваг з металевими та залізобетонними платформами.

Узагальнюючи багаторічний досвід виробництва ваг, до переваг залізобетонних вантажо-приймальних платформ можливо віднести наступні.

1. Бетон менше піддається температурним впливам порівняно з металом. Тому при коливанні температури середовища, що досягає діапазону 60 К між літнім та зимовим періодами, робота датчиків відбувається в більш стабільних температурних умовах. Це визначає майже в двічі менші границі, в яких змінюються похибки, що визначаються впливом температури на характеристики датчиків категорії точності С3 та вище.

2. Метал на відміну від залізобетону має більшу здатність накопичувати пластичні деформації, що в свою чергу спричиняє необхідність регулювання платформ з вузлами вбудови датчиків, а також появу граничних прогинів, які з часом можуть призвести до руйнування конструкції ваг.

3. Під дією інтенсивних імпульсних навантажень в металевих платформах можуть виникати пластичні деформації; у залізобетонних платформах цей фактор майже відсутній.

4. Бетонна платформа є більш масивною, а тому краще співставляється із вагою автомобіля, що виїжджає на неї, більш інертна і менше розгойдується на датчиках. За рахунок вищої інертності стабілізація залізобетонних ваг проходить в 3,5 - 4 рази швидше порівняно з металевими, що підвищує швидкодію та точність зважування в русі.

5. Залізобетонна конструкція є монолітною, а конструкція металевих ваг – пустотілою. Залізобетонна платформа є жорсткішою, ніж металева, що в свою чергу робить розподіл ваги між датчиками та між будівельними опорами більш рівномірним. Це дозволяє використовувати тензодатчики з меншою границею

зважування, а як наслідок, при рівній категорії їх точності, мати більш високі показники точності всієї ваги. Точка контакту датчика з платформою в залізобетонних вагах буде меншою, що мінімізує зміни кутів в напрямках дії ваги вантажу та датчика, що також позитивно впливає на точність вимірювання.

Варто відзначити, що залізобетонні платформи матимуть зазначені вище переваги лише в тому випадку, якщо при їх виробництві був використаний спеціалізований марочний бетон підвищеної міцності із застосуванням спеціалізованих присадок та технології виготовлення залізобетонних вантажо-приймальних платформ в заводських умовах.

*Ключові слова:* залізобетонні платформи, металеві платформи, точність зважування.

УДК 681.269

## УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШОЛОМІВ

*Криницький О. В.*

*Національний технічний університет України*

*“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна*

*E-mail: [viniza@ukr.net](mailto:viniza@ukr.net)*

Конструкції військових шоломів з моменту створення пройшли довгий еволюційний шлях від виробів з тонкостінних сталевих матеріалів до конструкцій з арамідних волокон. Розпочате в 1960-х роках використання арамідних матеріалів призвело до сучасних конструкцій бойових шоломів на основі кевлару. Процес удосконалення характеристик бойових шоломів продовжується на основі: 1) підвищення норм стандартів; 2) проектування з застосуванням сучасних матеріалів та дизайну шоломів; 3) сучасного обладнання в виробничих процесах; 4) проведення експериментальних досліджень. Вітчизняні виробники бойових шоломів, які поставляються Збройним силам України, використовують стандарти України, основані на стандартах НАТО STANAG 2902 [1]. Для допуску до застосування шоломи повинні пройти процедури сертифікації, які пов'язані з проведенням необхідного об'єму експериментальних досліджень. Проаналізовані стандартизовані групи контрольованих параметрів виробів. Висновок - в Україні на даний час немає випробувальних установок, які в повному обсязі можуть провести дослідження шоломів відповідно [2].

В доповіді обговорюється метод дослідження, конструкція та метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки установки для дослідження шоломів на ударостійкість.

В даний час стандартизовані два основних методи, що використовуються для тестування захисту шолома від тупого удару:



1) метод скидання шолома з висоти шляхом керованого вільного падіння на ударну поверхню, щоб зімітувати падіння військового.

2) скидання на шолом інерційного тіла (ІТ) методом керованого вільного падіння, щоб зімітувати шолом, який вражений іншим предметом. Спроектвана установка основана на другому методі. Стенд установки дозволяє зорієнтувати імітатор голови із закріпленим шоломом так, щоб провести досліди для різних точок удару: спереду ( $40^{\circ}$ - $45^{\circ}$  від вертикалі), ззаду ( $5^{\circ}$ - $30^{\circ}$  від вертикалі), зліва/справа ( $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$  від вертикалі), ліва/права потилиця ( $0^{\circ}$  від вертикалі, прокручений від  $15^{\circ}$ - $35^{\circ}$  вліво або вправо) та відносно маківки ( $\pm 35^{\circ}$  від вертикалі).

Для контролю параметрів взаємодії шолома та ІТ на базі комп'ютерної платформи Intel i7/Win 10 створена SCADA система для вимірювання, реєстрації та обробки сигналів датчикової апаратури. Склад датчиків: тензорезистори для вимірювання лінійної та зсувної деформації (найбільша границя вимірювання 5000 ppm), одновісний тензорезисторний силовимірювальний перетворювач (НГЗ 50 кН, чутливість 2,0 мВ/В), два МЕМС акселерометра (похибки вимірювання кутів не більше  $0,5^{\circ}$ , вимірювання прискорення ІТ  $a-g_{\text{нор}} \pm 1\%$ ), п'єзоелектричний акселерометр для контролю імпульсних прискорень.

Основою вимірювальної системи є 8-ми каналний синхронізований аналого-цифровий перетворювач для перетворення тензосигналів датчиків підключених за четверть- та повномостовою схемами, напруги та п'єзосигналів з частотою вибірки 200 кГц та границею допустимих похибок 0,2 %. Програмне забезпечення на основі Catmen/Easy проводить кореляційний, спектральний аналіз сигналів та визначає основні параметри взаємодії, в тому числі параметри демпфування при взаємодії.

*Ключові слова:* шоломи, установка імпульсних навантажень, тензорезистор, акселерометр.

#### **Література**

- [1] STANAG 2902, Non-ballistic test methods and evaluation criteria for combat helmets. Edition 3 published by the NATO STANDARDIZATION OFFICE (NSO) 2019.
- [2] Перелік стандартів та керівних документів НАТО, вимоги яких запроваджено в національних нормативних документах. [Електронний ресурс]. Доступно: [https://www.mil.gov.ua/content/pdf/Standart\\_NATO\\_Dod.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/pdf/Standart_NATO_Dod.pdf)

УДК 666.9.031

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНЫМ УЗЛОМ С АВТОРЕГУЛИРОВАНИЕМ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

*Мороз Н. А.*

*ТОВ «АСВІК-ЦЕНТР», Київ, Україна*

*E-mail: [moroz@asvik.kiev.ua](mailto:moroz@asvik.kiev.ua)*

В настоящее время на бетоносмесительных узлах для приготовления бетонных смесей применяются автоматизированные системы управления.

Одним из недостатков применения систем управления разработчиками-автоматчиками есть использование фиксированных подборов составов бетонных смесей. Это не позволяет изготавливать бетонные изделия необходимого качества без перерасчета составов, из-за нестабильности характеристик и параметров применяемых материалов (щебень, песок, цемент) в зависимости от поставщика или поставляемой партии.

Изменение параметров влечет за собой необходимость пересчета составов (изменения массы и пропорций применяемых материалов). Также на качество бетонной смеси влияет изменение водоцементного соотношения (ВЦС) при изменении влажности заполнителей (щебень, песок), которая не контролируется.

Не автоматизированное использование статистического контроля качества изделий (контроль коэффициента вариации, запас прочности за счет увеличения массы цемента) не позволяет оперативно отслеживать стабильность производства, контролировать прочность изделий в промежуточном (7 дней) и проектном (28 дней) возрасте, что влечет за собой значительный перерасход цемента.

Специалистами нашего предприятия разработана система управления бетоносмесительным узлом, которая кроме автоматизации процессов весового дозирования компонентов с высокой точностью (до 0.2%-0.5%) за счет применения дозаторных контроллеров собственной разработки и специальным управлением пневматикой шиберных заслонок, позволяет управлять соотношением масс компонентов бетонной смеси в процессе дозирования.

Применение предложенного метода авторегулирования состава бетонной смеси позволит:

- выпускать бетонные смеси без потери качества, при изменении параметров материалов (гранулометрии щебня и песка, прочности и класса цемента);
- повысить однородность бетонной смеси;
- снизить коэффициент вариации на 20-30%;
- снизить себестоимость продукции на 4-6% (при правильном подборе параметров авторегулирования).

В основу метода авторегулирования взяты с согласия автора алгоритмы

расчета д.т.н. Файнера М. Ш., опублікованні в научній монографії «Новые закономерности в бетоноведении и их практическое приложение».

Суть применения алгоритмов расчета заключается в оперативном пересчете массового состава и соотношения компонентов бетонной смеси при изменении их характеристик и параметров (гранулометрии щебня и песка, прочности и класса цемента). В систему управления параметры вводятся при поступлении новой партии материалов, после их определения в лаборатории входного контроля, и учитываются системой автоматически, перед началом дозирования компонента. Таким образом, исключается пересчет десятков составов в ручном режиме или с применением расчетных программ.

Применение автоматизированного управления статистического контроля качества (внесение результатов испытаний изделий в промежуточном и проектном возрасте с привязкой к партии изделия) позволяет оперативно получить расчет коэффициента вариации партии или серии (как оценочный по замесу) и своевременно отреагировать на его отклонение от применяемого в расчетах. Это позволит не ухудшить качество изделия или уменьшить количество цемента, в случае, если коэффициент вариации снизился.

В системе управления применены датчики определения влажности заполнителей (щебень, песок) которые измеряют фактическую влажность компонентов (соотношения песок/вода) непосредственно перед началом дозирования при формировании задания для дозаторов. Таким образом, масса воды во влажном песке и заданной в дозаторе воды точно соответствует расчетному для выдерживания соотношения вода/цемент (ВЦС) – основному критерию прочности бетонного изделия.

Минимальная ошибка в дозировании воды в  $10 \text{ л/м}^3$  - ведет к потере 30 кг цемента, если сохранять прочность заданную ВЦС, или снижению прочности бетонного изделия более чем на 30%

В системе управления используется интерфейс с визуализацией процесса дозирования, отслеживания аварийных ситуаций, своевременное оперативное вмешательство оператора в процесс дозирования для предотвращения брака. Формирование отчетности за произвольный период по использованию материалов, производительности, учету простоев узла с фиксацией причин и статистическому контролю качества с определением фактической прочности изделия. Система позволяет диспетчеризацию заказов с удаленного рабочего места диспетчера.

*Ключевые слова:* весовое дозирование, автоматическая система дозирования, многокомпонентный дозатор, бетон.

УДК681.26/531.75

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА ПО СИЛЕ УДАРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Никитин А. К., Толочко Т.А.

Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, Киев, Украина

E-mail: vargin\_@ukr.net

При динамических определениях инерционных свойств тел рассматривают свойства материальных тел, проявляющиеся при их движении. Числовое значение размера физической величины «инерционная масса» определяется из второго уравнения Ньютона и законов сохранения энергии. При этом взаимодействия и возникающие нагрузки часто носят импульсный характер.

Во многих случаях участвующие в этих измерениях тензорезисторные преобразователи (ТП) массы, силы и давления испытывают ударные нагрузки. При этом нагрузки могут быть сформированы, как ударом внешнего твёрдого тела или сплошной среды, так и ударом самого ТП о неподвижную жесткую поверхность. В настоящем сообщении речь пойдёт о первом случае.

Рассмотрим случай, когда на упругий преобразователь - кольцо падает тело массой  $m$ . Считаем, что деформация кольца происходит в пределах упругой деформации и вся кинетическая энергия падающего тела переходит в потенциальную энергию упругой деформации кольца.

Энергия упругой деформации кольца при статическом действии тела массой  $m$  (тело лежит на кольце) определяется выражением:

$$E_{II} = 4 \int_0^{\pi/2} \frac{M^2 R}{2EJ_z} d\varphi, \quad (1)$$

где  $E_{II}$  – потенциальная энергия;  $M$  – изгибающий момент;  $R$  – радиус кольца;  $E$  – модуль Юнга материала кольца;  $J_z$  – момент инерции поперечного сечения кольца, относительно оси  $Z$ ;  $\varphi$  – угол.

Воспользуемся теоремой Кастильяно для определения уменьшения вертикального диаметра кольца:

$$\delta_{CT} = \frac{dE_{II}}{dG} = 0,149 \frac{mgR^3}{EJ_z}, \quad (2)$$

где  $\delta_{CT}$  – уменьшение вертикального диаметра кольца при статической нагрузке;  $G$  – вес тела;  $m$  – масса тела;  $g$  – ускорение свободного падения.

Кинетическая энергия падающего тела в конечной точке его движения – в точке, в которой скорость тела будет равна нулю, определяется выражением

$$E_k = mg(H + \delta_d), \quad (3)$$

где  $H$  – высота падения тела;  $\delta_d$  – динамическая деформация кольца.

Принимая  $E_k = E_{II}$ , находим:

$$mg(H + \delta_d) = 4 \int_0^{\pi/2} \frac{M^2 R}{2EJ_z} d\varphi, \quad (4)$$

Отсюда находим  $\delta_d$  – величину уменьшения вертикального диаметра кольца при ударе:

$$\delta_d = \frac{4}{mg} \int_0^{\pi/2} \frac{M^2 R}{2EJ_z} d\varphi - H. \quad (5)$$

Зависимость между  $\delta_d$  и сжимающей силой  $F$  в общем случае имеет вид:

$$\delta_d = 0,149 \frac{FR^3}{EJ_z} \quad (6)$$

откуда

$$F = \delta_d \frac{EJ_z}{0,149FR^3}. \quad (7)$$

Общее выражение для относительных деформаций наружных поверхностей кольца при ударе будет иметь вид:

$$\varepsilon_H = \frac{R}{Ebh^2} (1,91 - 3 \cos \varphi) F, \quad (8)$$

где  $b$  – ширина кольца;  $h$  – толщина кольца.

Или в развёрнутом виде:

$$\varepsilon_H = \frac{R}{Ebh^2} (1,91 - 3 \cos \varphi) \left[ 3,36 mg \int_0^{\pi/2} \left( \cos \varphi - \frac{2}{\pi} \right)^2 d\varphi - \frac{EJ_z H}{0,149R^3} \right]. \quad (9)$$

Общее выражение для относительных деформаций внутренних поверхностей кольца при ударе будет иметь вид:

$$\varepsilon_B = \frac{R}{Ebh^2} (-1,91 + 3 \cos \varphi) \left[ 3,36 mg \int_0^{\pi/2} \left( \cos \varphi - \frac{2}{\pi} \right)^2 d\varphi - \frac{EJ_z H}{0,149R^3} \right]. \quad (10)$$

Зависимость (10) определяет чувствительность  $S_0$  и служит для расчета собственной частоты  $\omega_0$  весоизмерительного преобразователя тензорезисторного типа с кольцевым упругим элементом. По  $S_0$  и  $\omega_0$  оценивают погрешности определения массы динамическим способом.

*Ключевые слова:* измерение массы, удар, кольцо, относительная деформация.