

СЕКЦІЯ 9

МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

УДК 681.26

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДИКАТОРІВ І ПРИСТРОЇВ ОБРОБКИ АНАЛОГОВИХ ДАНИХ ЯК МОДУЛІВ НЕАВТОМАТИЧНИХ ЗВАЖУВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Ціпоренко С. В., Присяжний В. М.

*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

Існують два основних способи зважувальних приладів (далі – прилад)

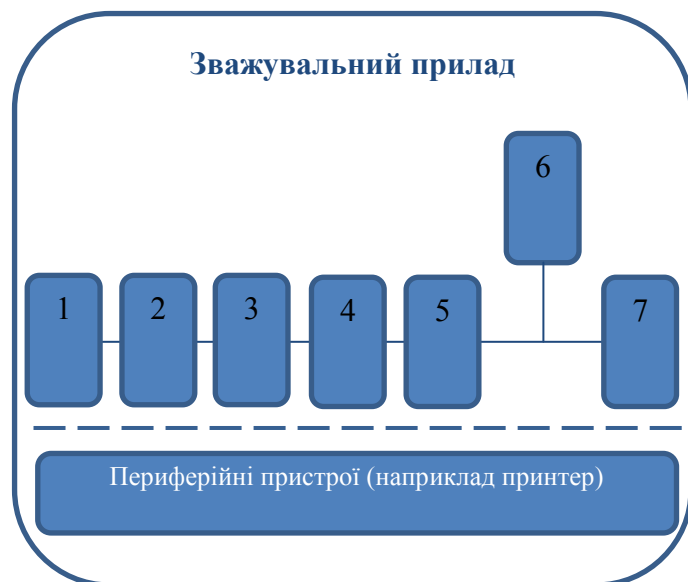


Рис. 1. Модулі зважувального приладу

1 – електричні і механічні з'єднувальні елементи; 2 – аналоговий ваговимірювальний датчик; 3 – аналого-цифровий перетворювач; 4 – пристрій первинного оброблення даних; 5 – пристрій подальшого оброблення даних; 6 – інтерфейс оператора; 7 – первинний дисплей.

експериментальних досліджень для цілей оцінки відповідності: дослідження комплектного приладу або дослідження окремих модулів приладу («модульний підхід»). Модульний підхід, зазвичай використовують, коли випробування комплектного приладу не є можливим, наприклад через його габаритні розміри або особливості конструкції.

Одним із основних модулів (див. рис. 1), який виділяють у конструкції зважувального приладу, є індикатор, який зазвичай складається з аналого-цифрового перетворювача (3), пристроїв оброблення даних (4 та 5), інтерфейсу оператора (6) та первинного дисплея (7).

До індикаторів застосовують наступні вимоги: клас точності

зважувального приладу, для використання з яким призначено індикатор; максимальна кількість повірочних поділок; частка від максимально допустимої похибки; температурний діапазон; діапазон вхідних сигналів; мінімальний вхідний сигнал на повірочну поділку шкали; діапазон повного опору датчика навантаження тощо.

Випробування індикаторів проводять з датчиком навантаження або імітатором аналогових сигналів («тензокалібратор»). Випробування виконують

за найбільш жорстких умов, тобто за мінімального вхідного сигналу на повірочну поділку шкали та за максимальної кількості повірочних поділок. Такі умови є найбільш жорсткими для індикатора як за випробувань на працездатність (внутрішній шум накладається на вихідний сигнал датчика/імітатора) так і за випробувань на дію завад (найменш сприятливе співвідношення сигналу та рівня високочастотної напруги). Упродовж випробувань перевіряють стійкість індикатора за впливу на нього електромагнітних завад, температур в діапазоні нормованих виробником значень, підвищеної вологості тощо.

У випадку позитивних результатів випробувань, індикатор може бути застосовано у складі зважувального приладу. При цьому необхідно оцінити сумісність такого індикатора разом із іншими модулями (датчиками навантаження, з'єднувальними елементами) у конструкції конкретного зважувального приладу.

Основною перевагою для виробників за модульного підходу є гнучкість у побудові зважувальних приладів різної конструкції. Окрім того, за модульного підходу суттєво знижується кількість необхідних випробувань, адже немає потреби випробовувати окремо різні комбінації модулів.

Ключові слова: зважувальні прилади, індикатори, оцінка відповідності.

УДК 681.26

ОЦІНЮВАННЯ СУМІСНОСТІ МОДУЛІВ У СКЛАДІ НЕАВТОМАТИЧНИХ ЗВАЖУВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Ціпоренко С. В., Присяжний В. М.

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

«Модульний підхід» один із найпоширеніших способів оцінки відповідності, який застосовують до зважувальних приладів (далі – прилади). За такого підходу у конструкції приладу виділяють окремі модулі, яким можуть бути приписані їх метрологічні характеристики та які можуть бути випробувані окремо. Найбільш поширеними модулями є індикатори із вбудованим аналого-цифровим перетворювачем і пристроями оброблення та відображення результатів, датчики навантаження із аналоговим або цифровим вихідним сигналом (див. рис. 1), термінали тощо.

Основною умовою застосування модульного підходу є сумісність модулів у конструкції приладу.

Для оцінювання сумісності використовують метрологічні характеристики приладу та підтверджені за результатами випробувань технічні характеристики модулів.

Сумісність модулів оцінюють за наступними критеріями:

1. Клас точності приладу має узгоджуватись із класом точності індикатора та датчика(-ів) навантаження;



Рис. 1. Індикатор та датчик навантаження

2. Границі робочих температур приладу мають узгоджуватись із границями робочих температур індикатора та датчика(-ів) навантаження;

3. Корінь квадратний із суми квадратів часток максимально допустимої похибки модулів (індикатора, датчика(-ів) навантаження, з'єднувальних елементів) не має перевищувати 1;

4. Кількість повірочних поділок приладу не має перевищувати кількість повірочних поділок індикатора;

5. Максимальне навантаження датчика(-ів) навантаження має узгоджуватись із максимальним навантаженням приладу;

6.1. Максимальна кількість повірочних поділок датчика(-ів) навантаження повинна узгоджуватись із кількістю повірочних поділок приладу;

6.2. Неповернення вихідного сигналу при мінімальному навантаженні датчика навантаження має узгоджуватись із ціною повірочної поділки багатодіапазонного/багатодіапазонного приладу;

6.3. Мінімальне навантаження датчика навантаження має бути меншим за власну масу вантажоприймальної платформи приладу;

7. Мінімальний повірочний інтервал датчика навантаження має узгоджуватись із ціною повірочної поділки приладу;

8. Фактична вхідна напруга на ціну повірочної поділки не повинна бути меншою ніж мінімальна вхідна напруга на ціну повірочної поділки індикатора;

9. Фактичний опір датчика навантаження не повинен перевищувати границь допустимого вхідного опору датчика навантаження для індикатора;

10. Значення відношення довжини до площі поперечного перетину з'єднувального кабелю між індикатором та з'єднувальною коробкою (для датчиків навантаження) не повинно перевищувати нормованого для індикатора значення.

Позитивні результати оцінки сумісності засвідчують, що модулі може бути застосовано у конструкції зважувального приладу без необхідності проведення додаткових випробувань такого повністю зібраного приладу з метою визначення його стійкості за впливу електромагнітних завад, температур в діапазоні нормованих виробником значень, підвищеної вологості тощо.

Ключові слова: неавтоматичні зважувальні прилади, сумісність модулів, оцінка відповідності.

УДК 006.915

АНАЛІЗ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ МАСИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВАТ-ВАГІВ

Захаров І. П., Паценко О. М.

ННЦ «Інститут метрології», Харків, Україна

E-mail: newzip@ukr.net, sashapatsenko@ukr.net

20 травня 2019 р. у силу вступає нова реформа система SI [1]. Відтепер усі одиниці системи SI будуть прив'язані до фундаментальних фізичних констант.

Кілограм більше не буде пов'язаний з матеріальним еталоном-артефактом – платино-іридієвою гирею, що зберігається BIPM. З цього часу він буде визначатися за допомогою ват-вагів (вагів Кіббла) через постійну Планка h , яке складає $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ Дж·с (точно).

При використанні двох режимів ваг (зважування та руху), маса m еталонної гирі визначається згідно рівняння:

$$m = hf^2 n^2 p / 4gv,$$

де g – прискорення вільного падіння у точці відтворення одиниці маси; f , n – частота квантів та номер сходинки Шапіро при використанні ефекту Джозефсона, відповідно; v – швидкість рухомої котушки у режимі руху; p – номер сходинки при використанні квантового ефекту Холла.

Під час оцінювання невизначеності необхідно враховувати різні складові невизначеності, які у відносному вигляді складають [2]: електричні складові – $6,2 \cdot 10^{-9}$, підгонку профілю – $5 \cdot 10^{-9}$, механічні ефекти – $5 \cdot 10^{-9}$, точність центрування – $4,7 \cdot 10^{-9}$; вимірювання прискорення вільного падіння – $4,3 \cdot 10^{-9}$, статистичні складові – $3 \cdot 10^{-9}$, вплив магнітного поля – $1,8 \cdot 10^{-9}$ та вимірювання швидкості – $1,7 \cdot 10^{-9}$.

Таким чином, сумарна стандартна невизначеність при відтворенні одиниці маси за допомогою ват-вагів встановлює $1,2 \cdot 10^{-8}$, що наближується до невизначеності, рекомендованої Резолюцією 26 Генеральної конференції з мір та ваг – $1,0 \cdot 10^{-8}$. Це значення невизначеності з 20.05.2019 буде приписуватись міжнародному прототипу кілограма. Останнє накладає вимоги щодо вдосконалення процедури відтворення кілограму за допомогою ват-вагів [3], для того, щоби довести її невизначеність до раніш прийнятого значення невизначеності відтворення маси за допомогою прототипу 10^{-9} .

Ключові слова: ват-ваги, невизначеність, постійна Планка, перевизначення системи SI, маса, кілограм.

Література

- [1] 2018 Resolution 1 of the 26th CGPM www.bipm.org/en/CGPM/db/26/1
- [2] D Haddad et al 2017 Measurement of the Planck constant at the National Institute of Standards and Technology from 2015 to 2017 Metrologia 54 633-41.
- [3] Li Shi-Song, Zhang Zhong-Hua, ZhaoWei, Li Zheng-Kun, Huang Song-Ling 2014 Progress on accurate measurement of the Planck constant: watt balance and counting atoms.

УДК 006.91

ЗВТ, ПОВ’ЯЗАНІ З ВИМІРЮВАННЯМ МАСИ У СФЕРІ ТА ПОЗА СФЕРОЮ ЗАКОНОДАВЧО РЕГУЛЬОВАНОЇ МЕТРОЛОГІЇ

Ільницька Т. М.

*Товариство з обмеженою відповідальністю Науково-виробниче підприємство «Технавіги»,
Львів, Україна*

E-mail: kl-tw@ukr.net

У Ст. 3 ЗУ Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (далі – ЗУ «Про метрологію...») [1] визначено 13 видів діяльності, що відносяться до сфери законодавчо регульованої метрології. Відповідно до Ст. 8, Ст. 16 ЗУ «Про метрологію...» [1] та Ст. 11 Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [2] введені в обіг, надані на ринок або введені в експлуатацію ЗВТ, що використовуються у сфері законодавчо регульованої метрології (далі – ЗР ЗВТ), повинні відповідати вимогам усіх чинних технічних регламентів, які застосовуються до них. Порядок проведення оцінки відповідності ЗР ЗВТ встановлюється технічними регламентами та іншими нормативно-правовими актами.

ЗР ЗВТ, що перебувають в експлуатації, підлягають періодичній повірці після проведення процедур оцінки відповідності вимогам Технічних регламентів по завершенню терміну міжповірочного інтервалу, встановленого нормативно - правовим актом України.

Відповідно до Ст. 27 ЗУ «Про метрологію...» [1] «калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології».

Повинні бути калібровані з дотриманням міжкалібрувальних інтервалів еталони та ЗВТ, що використовують:

- у своїй діяльності органи з оцінки відповідності, у тому числі випробувальні та калібрувальні лабораторії, наукові метрологічні центри, метрологічні центри та повірочні лабораторії;
- підприємства, у яких система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001 або ДСТУ ISO/IEC 17025, для провадження своєї діяльності та/або для перевіряння відповідності продукції та послуг встановленим вимогам.

У доповіді подано роз’яснення щодо необхідності проведення оцінки відповідності, повірки чи калібрування ЗВТ пов’язаних з вимірюванням маси.

Ключові слова: законодавчо регульована метрологія, ЗВТ, калібрування, маса, оцінка відповідності, повірка.

Література

- [1] Про метрологію та метрологічну діяльність [Електронний ресурс]: закон України [прийнято Верхов. Радою 05 червня 2014 р. № 1314-VII]. Доступно: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

- [2] Про технічні регламенти та оцінку відповідності [Електронний ресурс]: закон України [прийнято Верхов. Радою 15 січня 2015 р. № 124-VIII]. Доступно: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/124-19>

УДК 681.26.087

**ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ УДЛИНИТЕЛЬ СИГНАЛОВ ТЕНЗОДАТЧИКОВ
ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ К АНАЛОГОВЫМ ВХОДАМ КОНТРОЛЛЕРОВ
ФИРМЫ SIEMENS**

Калинин А. И.

ООО «НПФ «Тензо ЭВМ ЛТД»,. Одесса, Украина

E-mail: TenzoEVM@gmail.com

Современные тензометрические приборы и в частности модули для измерения веса контроллеров фирмы Siemens, как правило, строятся по «классической» схеме: один или несколько параллельно соединённых тензорезисторных датчиков (ТД) – четырёхжильный экранированный тензометрический кабель – вторичный тензометрический прибор (ВТП). При питающем напряжении тензодатчиков равным 5..10 В на их выходах формируется выходной сигнал величиной до 20 милливольт. Так как измерительный вход ВТП, как правило, имеет высокое входное сопротивление, то подключённый к ВТП тензосигнальный кабель является по сути «антенной», на которую «наводятся» все возможные сетевые и промышленные помехи. И чем длиннее тензосигнальный кабель, тем больше влияние помех. Кроме того, омическое сопротивление тензосигнального кабеля зависит от температуры окружающего воздуха. Чем выше температура и длиннее кабель, то тем больше погрешность измерения весов, которая при длине кабеля 100-1000 метров может достигать величины в несколько процентов.

Рассматриваемый в докладе удлинитель сигналов тензодатчиков использует метод одновременной передачи по витой паре частотного сигнала (формируемого выносным блоком аналого-частотного преобразования (БАЧП) прибора Тензод-200) и энергии для питания БАЧП и тензодатчиков. Это позволяет в качестве линии связи между БАЧП и блоком преобразования «частота-код-ток», использовать обычный двухпроводный неэкранированный кабель, витую пару, металлический трос или троллею, изменение сопротивления которых в пределах 0...100 Ом не влияет на точность измерения.

Для исключения влияния изменения омического сопротивления линии связи, и с целью максимального увеличения помехозащищённости канала связи, питание БАЧП и тензодатчиков осуществляется от источника постоянного тока, а выходной частотный сигнал БАЧП имеет форму «меандр». Так как мощность первой гармоника сигнала типа «меандр» при разложении в ряд Фурье составляет более 60% мощности всех остальных гармоник сигнала,

то помехоустойчивость данного метода передачи является теоретически максимально возможной по сравнению с другими методами преобразования и передачи. Это позволяет соединения в линии связи выполнять обычной «скруткой» и прокладывать линии связи в непосредственной близости от силовых кабелей трёхфазного сетевого напряжения.

В блоке преобразования «частота-код-ток» (БПЧТ) применен частотно-временной метод преобразования частоты в код, который по сравнению с обычным методом измерения частоты имеет в 20 раз выше разрешающую способность при времени измерения 0,1 секунды.

БПЧТ имеет: стандартный токовый выход 4-20 мА с линейностью преобразования не хуже 0,02% и выход на интерфейс RS-485 десятичного кода, численно равного частоте БАЧП с точностью преобразования не хуже 0,005%. В БПЧТ отсутствует плата индикация, что в несколько раз уменьшает стоимость удлинителя по сравнению с другими приборами.

Ключевые слова: весовая электроника, весы, аналого-частотное преобразование.

УДК 62-599

ИНФОРМАТИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРУГИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Нікітін О. К.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: vargin_@ukr.net

Упругие измерительные преобразователи являются основными функциональными элементами средств измерения давления, веса, массы, силы, моментов сил, расхода, ускорений и др. От их надежности, долговечности, информативной эффективности в основном зависит точность, надежность и долговечность средств измерительной техники в целом.

В докладе, тезисами которого есть данный материал, будут рассмотрены вопросы возможной оценки информативной эффективности ряда упругих измерительных преобразователей силы. Это в первую очередь стержни, балки, кольца, плоские мембраны.

Вопросы оценки эффективности упругих измерительных преобразователей тесно связаны с анализом методов и критериев оптимизации их качества. Под качеством изделий, в том числе и упругих измерительных преобразователей, понимается совокупность их свойств, обуславливающих пригодность изделий для удовлетворения определенных потребностей в соответствии с их назначением.

Основным звеном процесса оптимизации упругих измерительных преобразователей является выбор критерия оптимизации. Решение этой задачи

с учётом различных факторов осуществляется различными методами. Одним из основных методов является метод экспертных оценок. Недостатком этого метода является его некомплексность – достижения оптимума по одному из параметров может привести к низким показателям по другим параметрам.

Для устранения такого положения разработчики идут по пути фиксирования других параметров, т. е. достигают оптимум по основному, с их точки зрения, параметру при заданных (фиксированных) остальных.

Такой подход более рационален. Также одним из направлений оптимизации упругих измерительных преобразователей является оптимизация по совокупности показателей качества. Здесь следует назвать работы В. Х. Бегларяна и Я. М. Цейтлина. Вопросы разработки и использования комплексных критериев при оптимизации упругих измерительных преобразователей приведены в работах Ю. М. Пятин (критерий добротности) и П. В. Новицкого (информационно-энергетический коэффициент полезного действия).

В презентационных материалах доклада будут приведены результаты оценки упругих измерительных преобразователей по комплексному критерию «жесткость-относительная деформация».

Ключевые слова: упругие измерительные преобразователи, сила, информативность, эффективность.

УДК 681.26

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ LPWAN В ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ INDUSTRY 4.0

*Митронов В. А.
АОЗТ «УКРВЕЕСКОМ», Киев, Украина
E-mail: aquavlad@mail.ru.*

В настоящее время основным направлением развития систем промышленной автоматизации является переход к киберфизическим системам и технологиям Интернета вещей, что составляет основу революционных изменений в производстве, получивших наименование Industry 4.0.

В докладе рассмотрены базисные элементы новой концепции - Межмашинное взаимодействие (*Machine-to-Machine, M2M*) - общее название технологий, которые позволяют машинам обмениваться информацией друг с другом при реализации Индустриального интернета вещей (IIoT). Связь M2M используется для автоматической передачи данных измерений между механическими или электронными устройствами. Типичными компонентами системы M2M являются развернутые на месте беспроводные устройства со встроенными датчиками.

Индустриальный интернет вещей реализует концепцию вычислительной сети физических объектов, которые оснащены технологиями для взаимодействия друг с другом.

В докладе анализируются стандарты передачи данных в PoT и обосновывается необходимость привлечения идеологии LPWAN для конкретных применений, в частности, в задачах технологического весо- и силоизмерения.

В марте 2015 года исследовательский центр IBM Research и компания Semtech представили новую технологию Энергоэффективных Сетей Дальнего Радиуса Действия – LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), которая имеет ряд преимуществ по сравнению с сотовыми сетями и Wi-Fi для обеспечения M2M-коммуникаций. В течении ряда лет потенциал IoT сдерживался техническими проблемами, такими как малый срок службы устройств, работающих от батарей, короткой дальностью связи, высокой стоимостью и отсутствием единых стандартов. Технология, получившая название LoRaWAN (Long Range wide-area networks) позволила преодолеть эти препятствия. На основе новой спецификации и нового протокола для LPWAN, использующего нелицензируемый диапазон частот, технология LoRaWAN позволила подключать датчики на большие расстояния, предлагая при этом оптимальное время автономной работы датчиков и минимальные требования к инфраструктуре.

Применение новых технологий в беспроводных системах позволяет существенно повысить дальность (до 1-3 км), помехозащищенность, безопасность работы при значительном снижении энергопотребления и возможности добавления новых сервисных функций, учитывая двунаправленный характер обмена данными. Упростилось создание многоплатформенных автономных весов, автономных беспроводных датчиков, систем накопления, хранения и передачи информации.

Представлены результаты выполнения требований для защиты от изменения, манипуляции или мошеннического использования неавтоматических весов (NAWI) содержится в Директиве ЕС 90/384 / ЕЕС, которые применяются к программному обеспечению, контролирующему эти инструменты при использовании в этих системах LPWAN. Проанализированы возможности выполнения требований передачи и сохранения данных измерений через телекоммуникационные сети. Изложенные в WELMEC 2.3 и WELMEC 7.2 (приложение T и L).

Анализируется опыт применения LoRaWAN в проекте «CLOUD.UKRVES.COM» для работы с беспроводными датчиками и весоизмерительными системами с применением облачных технологий.

Ключевые слова: весоизмерительные системы, LPWAN, LoRaWAN, энергоэффективность, безопасность.

Литература

[1] <https://www.lora-alliance.org>

[2] WELMEC 2.3 Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments).

[3] WELMEC 7.2 Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU).

УДК 006.915

МЕТОДИЧНІ ПОХИБКИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ МАСИ ЗВАЖУВАННЯМ

Зайцев В. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: viniza@ukr.net

В метрологічній практиці до теперішнього часу поряд з мовними існують також змістовні термінологічні питання.

Розглядаються основні поняття ваговимірювальної техніки “фізична величина - маса”, “фізична величина - вага”, “засіб вимірювальної техніки - вага”, “навантаження”.

З позицій приведених визначень розглянуті методи та принципи вимірювання маси. Відзначається, що визначення, які застосовуються в нормативних документах (технічних регламентах, ДСТУ) не завжди повністю відповідають фізичному змісту, який в них вкладається. При цьому виникають методичні похибки визначення маси навіть при використанні абсолютно прецизійних технічних засобів.

Проаналізована найпоширеніша сучасна структура побудови ваговимірювальних систем: послідовне перетворення маси в силовий фактор – перетворення вимірювального зусилля в електричний сигнал- перетворення електричного сигналу в сигнал візуальної інформації.

В доповіді розглянуті методичні похибки, пов’язані з девіаціями прискорення вільного падіння та густини вантажів, маса яких вимірюється, густини повітря, в середовищі якого проводиться зважування, густини зразкових мір, за допомогою яких проводиться калібрування ваг. Для аналізу похибок розглянуті основні задачі перетворення сигналів лінійними вимірювальними системами – пряма задача (аналізу), задача ідентифікації (калібрування) та зворотня задача (вимірювання).

Рівняння та умови нормування для перерахованих задач зводяться до наступних рівнянь -

$$\text{аналізу} \quad N_x = S_o \cdot m_x \cdot g_x \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{пов}x}}{\rho_{\text{вантаж}}}\right);$$

$$\text{ідентифікації та нормування} \quad N_{\text{калібр}} = S_o \cdot m_{\text{калібр}} \cdot g_{\text{калібр}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{повкалібр}}}{\rho_{\text{калібр}}}\right);$$

$$N_{\text{калібр}} = m_{\text{калібр}}; \quad S_o = \frac{1}{g_{\text{калібр}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{повкалібр}}}{\rho_{\text{калібр}}}\right)};$$

$$\text{вимірювання} \quad m_x = N_x \cdot \frac{g_{\text{калібр}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{повкалібр}}}{\rho_{\text{калібр}}}\right)}{g_x \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{повх}}}{\rho_{\text{вантаж}}}\right)},$$

де $N_x, N_{\text{калібр}}$ – числові покази приладу при зважуванні та калібруванні;

$m_x, m_{\text{калібр}}$ – маса вантажу та мір маси;

$g_x, g_{\text{калібр}}$ – прискорення вільного падіння при зважуванні та калібруванні;

$\rho_{\text{повх}}, \rho_{\text{повкалібр}}, \rho_{\text{калібр}}, \rho_{\text{вантаж}}$ – густина повітря при вимірюванні та калібрування, густина мір маси, густина вантажу, відповідно.

S_0 – чутливість приладу.

На основі приведених виразів проаналізовані методичні похибки вимірювання маси в наступних випадках:

- при зважування ваговимірювальними системами в яких калібрувальні параметрів датчиків визначені на підприємстві виробнику;
- при зважуванні вантажів в залежності від їх густини та густини мір мас, які використовувалися при калібруванні ваг;
- при зважуванні вантажів на вагах, які прокалібровані мірами маси різної густини;
- при зважуванні рідин в цистернах при атмосферному тиску та при надлишковому тиску.

Зроблені висновки до можливості використання в метрологічній та господарській практиці описаних процедур при зважуванні.

Всі результати приводяться як для абсолютних числових значень маси вантажів, так і до їх умовних значень при зважуванні в повітрі згідно ДСТУ OIML D 28:2008 «Умовне значення результату зважування в повітрі (OIML D28:2004, IDT)», який застосовується в Україні як нормативний документ.

Ключові слова: маса, вимірювання, методична похибка.