



Рисунок 1 – Групповой подход

– большую долю интеллектуального труда, необходимого для реализации подхода и, соответственно, высокую квалификацию персонала.

В основе второго подхода положена кластеризация контрольно-измерительных процедур с целью их группирования и создания универсальных комплексов оборудования в пределах классификационных групп. Второй подход, в настоящих условиях, представляется более универсальным и менее затратным, имея ввиду наличие контрольно-измерительного оборудования и персонала необходимой квалификации.

Реализация второго пути предполагает выполнение следующих процедур:

- классификацию и анализ требований предъявляемых к продукции;
- выявление источников несоответствий, на основе статистического анализа поступающих на ремонт изделий;

- определение критериев качества для каждого конкретного источника несоответствий;
- разработку систем контроля качества на основе выделенных критериев;
- разработку методик контроля и испытаний продукции;
- разработку методик поверки контрольно-испытательного оборудования.

Литература

1. Марушкин, М. Некоторые проблемы современной метрологии в микроэлектронике / М. Марушкин, В. Мартынов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2020. – № 2. – С. 80–91.
2. Розяева, Т.Н. Качество 4.0: сущность, основные элементы, возможности от реализации [Электронный ресурс] / Т.Н. Розяева // КиберЛелинка – Научная электронная библиотека. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-primeneniyu-kontseptsii-kachestvo-4-0-na-predpriyatiyah/viewer>.
3. Соломахо, В.Л. Повышение эффективности функционирования сложных технических систем на основе технологий нейронных сетей / В.Л. Соломахо, Н.Г. Денисов // Сборник МНТК «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки». – Минск : БНТУ. – 2019. – С. 156–158.
4. Соломахо, В.Л. Обеспечение качества сопрягаемых поверхностей деталей / В.Л. Соломахо, Б.В. Цитович // Журнал «Инженер-механик». – 2020. – № 3. – С. 30–32.

УДК 531.768

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Дубейко С.В., Коробко Ю., С. Сенюта В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Описана методика оценивания неопределенности измерений при калибровке акселерометра, применяемого при испытаниях специальных покрытий, которые используются при строительстве детских и спортивно-игровых площадок. Построен алгоритм измерения ускорения при калибровке. Выявлены источники неопределенности, построена причинно-следственная диаграмма (диаграмма К. Исикавы).

Ключевые слова: акселерометр, виброускорение, измерение, калибровка, методика, неопределенность, алгоритм измерения, причинно-следственная диаграмма, источник неопределенности.

METHODOLOGY FOR ASSESSING UNCERTAINTY MEASUREMENTS DURING CALIBRATION ACCELEROMETER

Dubeyko S.V., Korobko Yu.S., Senyuta V.V.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A method for estimating measurement uncertainty when calibrating an accelerometer used in testing special coatings that are used in the construction of children's and sports playgrounds is described. An algorithm for measuring acceleration during calibration has been constructed. Sources of uncertainty were identified and a cause-and-effect diagram was constructed (K. Ishikawa's diagram).

Key words: accelerometer, vibration acceleration, measurement, calibration, methodology, uncertainty, measurement algorithm, cause-and-effect diagram, source of uncertainty.

Адрес для переписки: Коробко Ю.С., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: korobko.u@bntu.by

Акселерометры предназначены для измерения ускорения, т. е. скорости изменения скорости, которую он испытывает относительно сво-

бодного падения. Их применяют при оценке ударов, вибраций, резкого увеличения или уменьшения скорости, силы и т. п. В предлагае-

мой работе рассматривается вариант использования акселерометра при испытаниях специальных покрытий, используемых при строительстве детских и спортивно-игровых площадок.

Государственное регулирование в отношении детских площадок и покрытий осуществляется в соответствии с ТР ТС 042/2017 [1]. Основные требования к ним изложены в ГОСТ 34614.1-2019 [2]. Согласно этим документам, применяемое покрытие должно в приемлемой мере поглощать удар при непреднамеренном падении человека, что требует уделять надлежащее внимание выбору и установке безопасных покрытий на спортивно-игровых и детских площадках, а также проводить регулярные проверки и обслуживание, чтобы обеспечить посетителям безопасное и комфортное пространство для игр и тренировок.

Согласно Постановления № 38 [3] методика калибровки акселерометров, предназначенных для испытаний специальных покрытий детских и спортивно-игровых площадок на ударное воздействие, предполагает помимо других процедур, обработку результатов измерений, в частности оценивание неопределенности измерений при калибровке. В докладе предлагается оригинальная методика оценивания неопределенности измерений. Суть этой методики заключается в том, что погрешность измерения ускорения определяют, как отклонение действительного измеренного значения, полученного с помощью испытательного модуля от эталонного, полученного с помощью виброустановки. Алгоритм измерения ускорения при калибровке приведен на рисунке 1.

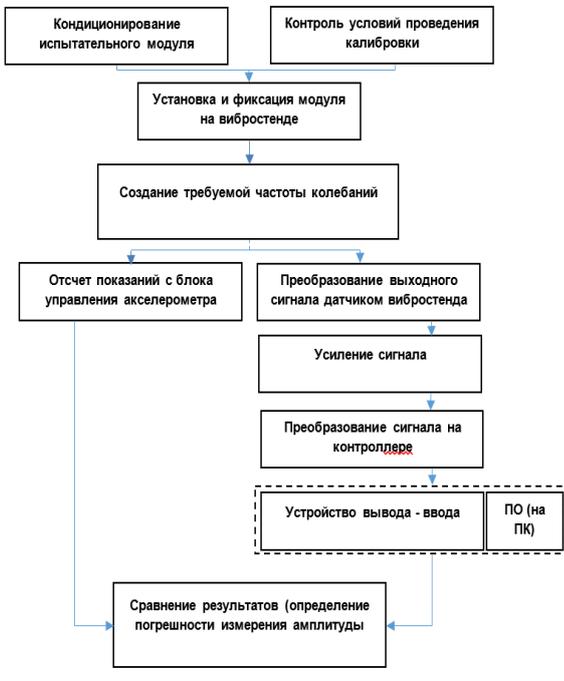


Рисунок 1 – Алгоритм измерения ускорения при калибровке

При калибровке в качестве выходной величины принимается погрешность измерения ускорения Δa , которая определяется по формуле (1).

$$\Delta a = |a_{\text{эт}} - a_{\text{изм.}}|, \quad (1)$$

где $a_{\text{эт}}$ – ускорение, полученное с помощью виброустановки; $a_{\text{изм.}}$ – ускорение, полученное с помощью испытательного модуля.

Источники неопределенности выявлялись «методом мозгового штурма» с привлечением 3-х экспертов лаборатории. Для иллюстрации и структуризации выявленных источников возникновения неопределенности была использована причинно-следственная диаграмма (диаграмма К. Исикавы), представленная на рисунке 2.

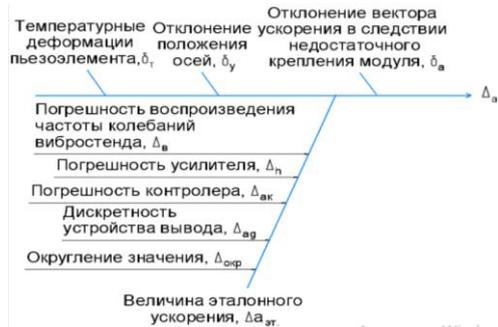


Рисунок 2 – Источники возникновения неопределенности при измерении ускорения при калибровке: δ_{τ} – температурные деформации пьезоэлемента; Δ_y – отклонение положения осей; δ_{α} – отклонение вектора ускорения вследствие недостаточного крепления модуля; Δ_B – погрешность воспроизведения амплитуды/частоты колебаний вибростенда

Согласно эксплуатационной документации $\Delta_B = \pm 0,05$. Неопределенность, связанная с погрешностью воспроизведения амплитуды/частоты колебаний вибростенда, принимаем равной (2):

$$u(\Delta_B) = \frac{\Delta_B}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

где Δ_h – погрешность усилителя, определяемая как $\Delta_h = \pm 0,01$. Неопределенность, связанная с погрешностью усилителя, принимаем равной (3):

$$u(\Delta_h) = \frac{\Delta_h}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{ак}}$ – погрешность контроллера, согласно эксплуатационной документации $\Delta_{\text{ак}} = \pm 0,5$.

Неопределенности, связанная с погрешностью контроллера будет равна (4):

$$u(\Delta_{\text{ак}}) = \frac{\Delta_{\text{ак}}}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

где $\Delta_{\text{ад}}$ – дискретностью устройства. Неопределенности, связанная с дискретностью устройства будет равна (5):

$$u(\Delta_{\text{ад}}) = \frac{0,5 \cdot \text{наим. разряд кода}}{2\sqrt{3}}, \quad (5)$$

где Δ_0 – погрешность округления результата единичного определения ускорения. Неопределенность, обусловленная округлением единичного значения, будет определяться как (6):

$$u(\Delta_0) = \frac{0,5}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

Все входные величины рассматриваются как некоррелированные, поскольку получены независимо друг от друга на разных этапах методики калибровки.

Суммарная стандартная неопределенность величины изменения ускорения определяется как:

$$(\Delta_a) = \sqrt{(C_1 \cdot u(\Delta_n))^2 + (C_2 \cdot u(\Delta_h))^2 + (C_3 \cdot u(\Delta_{ак}))^2 + (C_4 \cdot u(\Delta_{ад}))^2 + (C_5 \cdot u(\Delta_0))^2}, \quad (7)$$

где $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 1$ – коэффициенты влияния соответствующих составляющих неопределенности.

В качестве примера в таблице 1 приведен бюджет неопределенности, полученный для акселерометра (Model 356A02).

Таблице 1. Бюджет неопределенности

Параметр	Значение параметра	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад в неопределенность, $C_i \cdot u(x_i)$
Δ_n	0,05	0,03	1	0,03
Δ_h	0,01	0,006	1	0,006
$\Delta_{ак}$	0,5	0,005	1	0,005
$\Delta_{ад}$	0,05	0,00014	1	0,00014
Δ_0	0,5	0,0014	1	0,0014
Δ_a	$ a_{ст} - a_{изм} $	0,03		

Оценку расширенной неопределенности можно рассчитать для уровня доверия 95 % в предположении нормального закона распределения оцениваемой величины. Коэффициент охвата k принимается равным 2 (8).

$$U(\Delta_a) = u(\Delta_a) \cdot k. \quad (8)$$

Литература

1. О безопасности оборудования для детских игровых площадок : ТР ТС 042/2017.
2. Оборудование и покрытия игровых площадок. Часть 1. Общие требования безопасности и методы испытаний : ГОСТ 34614.1-2019.
3. Об осуществлении метрологической оценки для утверждения типа средств измерений и стандартных образцов: Постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 20 апреля 2021 г. № 38.

УДК 53.089.6

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ КАЛИБРОВКИ АКСЕЛЕРОМЕТРА (МОДУЛЯ УСТРОЙСТВА TRIAX 2015)

Дубейко С.В., Коробко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрены актуальные вопросы обеспечения единства измерений при калибровке средств измерения виброускорения – установление метрологическая прослеживаемости. Предложена схема метрологической прослеживаемости, разработана методика его калибровки и методика оценивания неопределенности измерений акселерометра (модуля устройства TRIAX 2015).

Ключевые слова: акселерометр, виброускорение, измерение, калибровка, метод калибровки, метрологическая прослеживаемость.

ESTABLISHMENT OF METROLOGICAL TRACEABILITY WHEN CALIBRATING THE ACCELEROMETER (TRIAx 2015 DEVICE MODULE)

Dubeyko S.V., Korobko Yu.S.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Topical issues of ensuring the uniformity of measurements during calibration of vibration acceleration measuring instruments – the establishment of metrological traceability are considered. A metrological traceability scheme was proposed and, based on it, a calibration technique and a method for estimating the uncertainty of the accelerometer (TRIAx 2015 device module) were developed.

Key words: accelerometer, vibration acceleration, measurement, calibration, calibration method, metrological traceability.

Адрес для переписки: Коробко Ю.С., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: korobko.u@bntu.by

Понятие «метрологическая прослеживаемость» на законодательном уровне в Республике Беларусь установлено законом Республики Бела-

русь «Об обеспечении единства измерений». Метрологическая прослеживаемость – свойства результата измерений, в соответствии с которым