

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-

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

этот результат может быть соотнесен с национальным эталоном единицы величины или иной основой для сравнения через документированную неразрывную цепь поверок средств измерений и/или калибровок.

Метрологическая прослеживаемость обеспечивает связь между результатом измерения или значением эталона и соответствующим опорным значением на более высоких уровнях. Метрологическая прослеживаемость может быть обеспечена различными способами, но часто она осуществляется путем обеспечения неразрывной цепи калибровок, которая приводит к международному или национальному эталону, где на каждом этапе цепи должна быть оценена и задокументирована неопределенность результата калибровки. В свою очередь методика калибровки на каждом этапе цепи должна опираться на утвержденные стандарты и методики. Лаборатории, осуществляющие калибровки, должны быть аккредитованы на техническую компетентность и должен быть выдержан межкалибровочный интервал [1–3].

Устройство, рассмотренное в данной статье, используется с целью обеспечения безопасности детей на игровых площадках, в частности в отношении повреждений головы ребенка, получаемых при падении с игрового оборудования. Такие повреждения характеризуются наиболее тяжелыми последствиями [4–5].

Детские площадки являются важной частью жизни детей, которые играют на них, взаимодействуют друг с другом и развивают навыки, такие как социальная и физическая активность, творчество и воображение. Эти навыки и опыт, полученный на детских площадках, являются необходимыми для полноценного развития детей. Кроме того, следует отметить, что детские площадки могут оказывать положительное влияние на развитие родительских компетенций. Родители, которые активно взаимодействуют со своими детьми на детских площадках, улучшают свои социальные навыки и развивают более глубокие и продуктивные отношения [6].

Несмотря на это, многие детские площадки имеют свои проблемы, которые могут привести к травмам и неудачам. Некачественные материалы, устаревшее оборудование, плохое состояние покрытий и другие факторы могут представлять угрозу для безопасности детей. Поэтому необходимо обеспечить высокий уровень качества и безопасности детских площадок. Как следствие наблюдается необходимость контроля покрытий игровых площадок.

TRIAХ 2015 позволяет оценивать различные покрытия игровых площадок на способность смягчать удар при падении в зоне приземления оборудования игровой площадки. Модуль в свою очередь является основным элементом устройства и имеет алюминиевый корпус, внутри

которого установлен трехосный акселерометр модели 356A02 ICP® *Triaxial Accelerometer*, производства *PCB Piezotronics* [7].

В предлагаемой работе показано, что для установления метрологической прослеживаемости при калибровке акселерометра (модуля *TRIAХ 2015* беспроводного устройства для определения уровня ударного воздействия) за основу была принята государственная поверочная схема для средств измерений виброускорения, которая приведена в МИ 2070-90. Схема отображает иерархию средств измерения виброускорения и нормирует на каждом этапе передачи размера конкретные средства измерений (СИ), допустимые погрешности СИ и методы поверки. На основе поверочной схемы была разработана и предложена схема метрологической прослеживаемости при калибровке акселерометра, которая показана на рисунке 1.

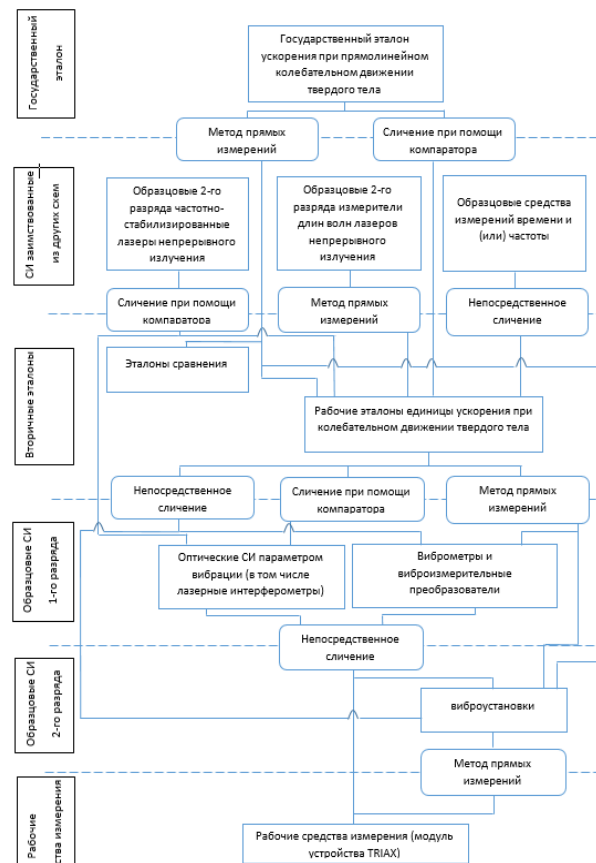


Рисунок 1 – Упрощенная схема передачи единицы виброускорения

Кроме того, в целях реализации этапа передачи единицы величины виброускорения от рабочего средства измерения к эталонному средству измерения 2-го разряда были разработаны и предложены методика калибровки и методика оценивания неопределенности измерений акселерометра. При этом методика калибровки разработана в со-

ответствии с требованиями Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 20 апреля 2021 г. № 42 «Об утверждении правил осуществления метрологической оценки в виде работ по калибровке средств измерений» и с учетом требований ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

В качестве основы для сравнения при калибровке акселерометра (модуля TRIAX 2015) использовалось следующее оборудование: виброустановка МРА403-М124М (частотный диапазон от 5 Гц до 4000 Гц, максимальное перемещение 51 мм, пиковая скорость 1,8 м/с, пиковое ускорение 200 g, подвижная масса до 10 кг, усилитель мощности 13 кВА). Выбор виброустановки как основы для сравнения был обусловлен конструкцией (полусферическая форма) и массой самого модуля (масса 4,6 кг).

Дальнейшие этапы цепи калибровок проводятся в соответствии с приведенной на рисунке 1 схемой.

Литература

1. Velichko, O.N. Traceability of measurement results at different levels of metrological work / O.N. Velichko // Measurement Techniques. – 2009. – 52 (11). – P. 1242–1248.
2. Метрологическая прослеживаемость результатов испытаний / В.Г. Кутяйкин [и др.] // Компетентность / Competency (Russia). – 2020. – № 7.
3. Шитова, Д.С. Взаимное признание результатов измерений на международном уровне / Д.С. Шитова, Т.В. Шушкевич // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – № 6. – С. 174–175.
4. Травма. В 3-х т. Т 1. / Дэвид В. [и др.] / пер. с англ.; под. ред. Л.А. Якимова, Н.Л. Матвеева – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – С. 520.
5. Holbourn. A. Mechanics of head injuries / A. Holbourn. // Lancet. – 1943. – Vol. 242, № 6267. – P. 438–441.
6. Zhang, L. A proposed injury threshold for mild traumatic brain injury / L. Zhang, K.H. Yang, A.I. King // J. Biomech. Eng. – 2004. – Vol. 126. – P. 226–236.
7. Беляева, Н.Н. Морфологические критерии риска вредного воздействия факторов окружающей среды на организм / Н.Н. Беляева // Гигиена и санитария. – 2002. – № 6. – С. 75–76.

УДК 539.3

ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ ДВУХОПОРНОЙ СОСТАВНОЙ БАЛКИ

Дудяк А.И., Хвасько В.М.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Рассматривается поперечный изгиб двухопорной балки, составленной из двух стержней, выполненных из одного материала. Приводятся два случая закрепления торцов стержней балки: 1) составные стержни не связаны между собой; 2) торцы составных стержней жестко соединены друг с другом сваркой или склеиванием. Были получены формулы для определения углов поворота торцов стержней и прогиба балки посередине пролета. Предложенная методика основана на методе начальных параметров, однако при этом учитывается влияние закрепления торцов стержней в составной балке.

Ключевые слова: изгибающий момент, угол поворота, прогиб, составная балка.

DEFORMATIONS DURING TRANSVERSE BENDING OF A TWO-SUPPORTED COMPOSITE BEAM

Dudjak A.I., Khvasko V.M.

*Belarussian national technical university
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The transverse bending of a two-supported beam composed of two rods made of the same material is considered. Two cases of fixing the beam rods ends are given: 1) composite rods are not connected to each other; 2) the ends of the composite rods are rigidly connected to each other by welding or gluing. Formulas were obtained to determine the angles of rotation of the rods ends and the beam deflection in the middle of the span. The proposed method is based on the initial parameters method however it takes into account the influence of fixing the rods ends in a composite beam.

Key words: bending moment, angle of rotation, deflection, composite beam.

*Адрес для переписки: Дудяк А.И., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: dudjak@mail.ru, smat@bntu.by*

В данной работе ставится цель разработать методику расчета деформаций при поперечном изгибе двухопорной балки, составленной из двух стержней, выполненных из одного материала, в зависимости от способов закрепления ее торцов.

В первом случае рассмотрим двухопорную балку, состоящую из двух стержней, не связанных между собой, а свободно лежащих друг на друге. В качестве нагрузки выберем поперечную силу F , приложенную посередине пролета балки