

метрологических характеристик включает перечень операций по определению метрологических характеристик калибруемого СИ. Погрешность акселерометра определяют при близких к постоянным значениям ускорения, воспроизводимых образцовой виброустановкой, не менее чем при 10 значениях частоты, находящихся в пределах рабочего диапазона частот акселерометра или в непрерывном спектре частот. При этом погрешность акселерометра Δf в рабочем диапазоне частот (в процентах) определяют, как:

$$\Delta_f = \frac{\alpha_n - \alpha_g}{\alpha_g} \cdot 100, \quad (1)$$

где α_g – значение параметра вибрации, воспроизводимое образцовой виброустановкой; α_n – соответствующее показание акселерометра.

В разделе «Оформление результатов калибровки» приводятся требования к оформлению результатов калибровки. В методике калибровки установлено, что по результатам калибровки оформляется протокол. При положительных результатах на СИ наносят знак калибровки и (или) выдают свидетельство о поверке. При отрицательных результатах калибровки акселерометра ранее нанесенный знак калибровки подлежит уничтожению, предыдущее свидетельство прекращает свое

действие, и выписывается заключение о непригодности. Акселерометр к применению не допускается.

Литература

1. Об утверждении Правил осуществления метрологической оценки в виде работ по калибровке средств измерений: постановление Госстандарта Респ. Беларусь от 23.04.2021 № 42 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100042> (дата обращения: 20.12.2025).
2. ГОСТ 34615-2019 (EN 1177:2018+AC:2019). Покрытия ударопоглощающие игровых площадок. Определение критической высоты падения. – Введ. 01.01.2020. – М.: Стандартиформ, 2019. – 24 с.
3. ТКП 181-2023. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Введ. 01.01.2024. – Минск: БелГИСС, 2023. – 184 с.
4. ТКП 427-2022. Электроустановки. Правила по обеспечению безопасности при эксплуатации. – Введ. 01.01.2023. – Мн.: БелГИСС, 2022. – 96 с.
5. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – Введ. 01.01.1976. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 16 с.
6. ГОСТ 8.009-84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Введ. 01.01.1985. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.

УДК 621.31/36

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ КАЛИБРОВКИ АКСЕЛЕРОМЕТРА TRIAX

Дубейко С. В., Коробко Ю. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрена методика оценивания неопределенности калибровки акселерометра. Выявлены источники неопределенности, построена причинно-следственная диаграмма (диаграмма К. Исикавы). Представлен расчет расширенной неопределенности калибровки акселерометра TRIAX и бюджет неопределенности.

Ключевые слова: неопределенность, акселерометр, калибровка, ч, причинно-следственная диаграмма, измерение, источник неопределенности.

TRIAx ACCELEROMETER CALIBRATION UNCERTAINTY

Dubeyko S. V., Korobko Yu. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The method of estimating the uncertainty of the accelerometer calibration is considered. The sources of uncertainty are identified, and a cause-and-effect diagram (K. Ishikawa diagram) is constructed. The calculation of the extended uncertainty of the TRIAX accelerometer calibration and the uncertainty budget are presented.

Keywords: uncertainty, accelerometer, calibration, h, cause-and-effect diagram, measurement, source of uncertainty.

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

Одной из важнейших функций любого государства является обеспечение безопасности его граждан, включающей, прежде всего, безопасность окружающей среды: транспорта, быта, спорта и т. п. Особенно остро стоит вопрос безопасности детей, поскольку дети находятся в стадии активного роста и развития, и их организмы еще не полностью сформированы и не имеют достаточной стойкости к воздействию различных факторов. Дети чаще подвержены болезням и негативному воздействию окружающей среды.

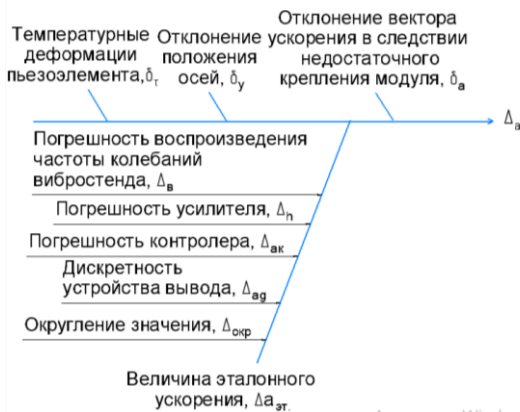
Предлагаемая статья посвящена актуальному вопросу – обеспечению безопасности детей, находящихся на спортивных и игровых площадках во время проведения игр, спортивных мероприятиях и т. п. [1]. Основным направлением работы являются вопросы исследования различного рода покрытий игровых и спортивных площадок с целью определения их безопасности на ударное воздействие (прежде всего головы) и возможности их применения [2–3]. В результате разработана оригинальная методика испытаний указанных

покрытий на удар. Для определения силы удара использовалось испытательное оборудование фирмы TRIAX и акселерометр модели 356A02. Методика испытаний предполагает необходимость проведения калибровки акселерометра, что, в свою очередь, требует демонстрации ее точности. В связи с этим была разработана оригинальная методика оценивания неопределенности калибровки акселерометра.

Сущность методики заключается в определении погрешности измерения ускорения акселерометра Δ_a как отклонение действительного измеренного значения $\Delta_{изм}$ от эталонного $\Delta_{эт}$ полученного с помощью виброустановки, используемой при калибровке (1):

$$\Delta_a = |\Delta_{эт} - \Delta_{изм}|. \quad (1)$$

Для выявления источников неопределенности использовался метод «мозгового штурма» с привлечением 3-х экспертов лаборатории. Их структуризация показана причинно-следственной диаграммой (диаграммой К. Исикавы), рисунок 1:



δ_τ – температурные деформации пьезоэлемента; δ_γ – отклонение положения осей; δ_α – отклонение вектора ускорения вследствие недостаточного крепления модуля; Δ_v – погрешность воспроизведения амплитуды/частоты колебаний вибростенда

Рисунок 1 – Источники возникновения неопределенности при измерении ускорения при калибровке

Исходя из этого полная математическая модель измерения при калибровке представляется как (2):

$$\Delta_a = \Delta_{откл} + \delta_\tau + \delta_\gamma + \delta_\alpha + \Delta_v + \Delta_h + \Delta_{ак} + \Delta_{аг} + \Delta_{окр}, \quad (2)$$

где $\Delta_{откл} = |\Delta_{эт} - \Delta_{изм}|$, δ_τ – поправка на температурную деформацию пьезоэлемента, δ_γ – поправка на отклонение положения осей, δ_α – поправка на отклонение вектора ускорения вследствие недостаточного крепления модуля, Δ_v – поправка на погрешность воспроизведения частоты колебания вибростенда, Δ_h – поправка на погрешность усилителя, $\Delta_{ак}$ – поправка на погрешность контролера, $\Delta_{аг}$ – поправка на дискретность устройства вывода, $\Delta_{окр}$ – поправка на округление значения.

Анализ источников возникновения неопределенности показывает, что температурные деформации пьезоэлемента, отклонение положения осей, отклонение вектора ускорения вследствие недостаточного крепления модуля не оказывают существенного влияния на неопределенность измерения и их влиянием можно пренебречь.

Поскольку в эксплуатационной документации не установлен закон распределения для влияющих величин Δ_v , Δ_h и $\Delta_{ак}$, то для них принимаем равномерный (прямоугольный) закон распределения, а вызванные ими неопределенности рассчитываются по типу В (3):

$$u(\Delta_v) = \frac{\Delta_v}{\sqrt{3}}, u(\Delta_h) = \frac{\Delta_h}{\sqrt{3}}, u(\Delta_{ак}) = \frac{\Delta_{ак}}{\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Поскольку вывод на экран значения ускорения вибростенда осуществляется до 0,1 знака после запятой, то погрешность $\Delta_{аг}$ будет соответствовать значению наименьшего разряда кода. Измеренное ускорение может принять любое значение. Принимается нормальный закон распределения для данной величины, поскольку неопределенность, связанная с дискретностью устройства, имеет много больше двух составляющих. Составляющая неопределенности, связанная с дискретностью устройства будет определяться как (4):

$$u(\Delta_{ад}) = \frac{\frac{1}{2} \text{наим.разряд кода}}{2\sqrt{3}}. \quad (4)$$

Округление результата единичного определения ускорения осуществляется до 1,0 м/с². Соответственно предельное отличие округленного результата от определенного значения составит 0,5 м/с². Принимаем нормальный закон распределения для данной величины, поскольку неопределенность оценивания ускорения имеет больше двух составляющих, причем среди составляющих нет доминирующей по значению. Неопределенность, обусловленная округлением единичного значения, будет определяться как (5):

$$u(\Delta_{окр}) = \frac{0,5}{2\sqrt{3}}. \quad (5)$$

Все входные величины рассматриваются как некоррелированные, поскольку получены независимо друг от друга на разных этапах методики калибровки и относятся к разным источникам, которые не связаны между собой. Коэффициенты влияния $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 1$.

Суммарная стандартная неопределенность величины измерения ускорения определяется как (6):

$$u(\Delta_a) = \sqrt{(C_1 \cdot u(\Delta_v))^2 + (C_2 \cdot u(\Delta_h))^2 + (C_3 \cdot u(\Delta_{ак}))^2 + (C_4 \cdot u(\Delta_{ад}))^2 + (C_5 \cdot u(\Delta_{окр}))^2} \quad (6)$$

Бюджет неопределенности, составленный для конкретных значений погрешностей, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Значение параметра	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад в неопределенность, $C_i \cdot u(x_i)$
Δ_v	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
$\Delta_{окр}$	0,5	0,0014	1	0,0014
Δ_a	$\Delta_a = a_{эп} - a_{изм} $	0,03	–	–

Оценка расширенной неопределенности получается при уровне доверия 95 % в предположении нормального закона распределения оцениваемой

величины. Коэффициент охвата k принимается равным 2 (7):

$$U(\Delta a) = u(\Delta a) \cdot k, \quad (7)$$

Литература

1. Perceived links between playing surfaces and injury: a worldwide study of elite association football players / A. C. Mears [et al.] // Sports Medicine. – 2018. – Vol. 4. – Art. 40.
2. Association of artificial turf and concussion in competitive contact sports: a systematic review and meta-analysis / F. O'Leary [et al.] // BMJ Open Sport & Exercise Medicine. – 2020. – Vol. 6, № 1. – Art. e000695.
3. Meyers, M. C. Incidence, mechanisms, and severity of game-related college football injuries on FieldTurf versus natural grass: a 3-year prospective study / M. C. Meyers // The American J. of Sports Medicine. – 2010. – № 4. – P. 687–697.

УДК 65.012.61

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ РИСКА ПРОЦЕССА ИНСПЕКЦИИ В ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ

Качанова Ю. И., Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В надзорной деятельности пищевой продукции критически важно правильно идентифицировать и оценивать риски, чтобы минимизировать вероятность некорректных решений. В условиях усиления требований к безопасности пищевой продукции и ограниченности ресурсов надзорных органов актуальной становится задача повышения эффективности надзорной деятельности. Одним из ключевых инструментов в этом направлении является идентификация факторов риска, возникающих в процессе проведения надзорных мероприятий. В докладе рассматривается функциональная модель к выявлению и классификации рисков, связанных с инспекций, достоверностью данных, а также человеческим фактором.

Ключевые слова: надзорная деятельность, безопасность пищевой продукции, процессная модель, идентификация источников рисков.

IDENTIFICATION OF RISK FACTORS OF THE INSPECTION PROCESS IN THE FOOD INDUSTRY INDUSTRIES

Kachanova Y. I., Serenkov P. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. In food product supervision, it is critically important to correctly identify and assess risks in order to minimize the likelihood of incorrect decisions. In the context of increasing requirements for food safety and limited resources of supervisory authorities, the task of increasing the effectiveness of supervisory activities is becoming urgent. One of the key tools in this area is the identification of risk factors that arise during the supervision process. The report examines a functional model for identifying and classifying risks related to inspections, data reliability, and the human factor.

Keywords: supervisory activities, food safety, process model, identification of risk sources.

Адрес для переписки: Серенков П. С., ул. Я. Коласа, 22, 518, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: pavelserenkov@bntu.by

Актуальность темы обусловлена важностью обеспечения безопасности и качества продуктов питания. В условиях глобализации и увеличения объемов производства и потребления пищевой продукции, надзорные органы сталкиваются с множеством вызовов, связанных с контролем и регулированием этой сферы. Некорректные решения могут привести к серьезным последствиям, таким как распространение небезопасных продуктов, ухудшение здоровья населения и снижение доверия к надзорным органам

Основная цель – минимизация рисков некорректного принятия решений в процессе проверок [1].

На первом этапе был реализован процессный подход к анализу надзорной деятельности пищевой продукции. В основу моделирования процесса надзорной деятельности положена методология функционального моделирования бизнес-процессов IDEF0. Методология позволяет визуализировать бизнес-процессы (состав, последовательность, взаимодействия и взаимосвязи) для целей их комплексного анализа [2].