ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70104— 2023

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Методы оценки неопределенности измерения

(ISO/TS 22704:2022, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2023 г. № 990-ст

4 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения международного документа ISO/TS 22704:2022 «Вибрация. Неопределенность измерения и оценки вибрации, воздействующей на человека» (ISO/TS 22704:2022 «Mechanical vibration — Uncertainty of the measurement and evaluation of human exposure to vibration», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие принципы 3
5 Измеряемая величина и ее неопределенность 4
6 Влияющие факторы и влияющие величины 7
7 Регистрация и использование данных о неопределенности измерения 10
Приложение А (справочное) Ошибки при измерениях вибрации 11
Приложение Б (справочное) Примеры расчета неопределенности измерения 12
Библиография 14

Введение

Измерения вибрации, рассматриваемой как один из факторов вредных воздействий на работника на его рабочем месте, могут проводиться в разных целях, и не всегда они сопровождаются высокими требованиями к их качеству, в том числе к необходимости оценки точности получаемых результатов. Однако в ситуациях, когда измерения проводят для получения доказательной базы, например соответствия или, наоборот, несоответствия установленным требованиям к условиям труда, результаты измерений должны сопровождаться оценками их неопределенности.

Оценка точности измерения через характеристики его неопределенности требует строгого задания измеряемой величины и детального описания метода измерений. В настоящем стандарте предполагается, что измеряемые величины и методы измерений определены по ГОСТ 31319 для общей и по ГОСТ 31192.2 для локальной вибрации. Для других измеряемых величин и/или других методов измерений могут потребоваться другие оценки неопределенности измерения.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Методы оценки неопределенности измерения

Mechanical vibration.
Measurements of vibration exposer at workplaces.
Methods of evaluation of measurement uncertainty

Дата введения — 2023—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод оценки неопределенности измерения величин, характеризующих воздействие вибрации на работника на его рабочем месте (см. раздел 5), согласно ГОСТ 34100.3 при проведении измерений по ГОСТ 31319 для общей и ГОСТ 31192.2 для локальной вибрации с применением виброметра, удовлетворяющего требованиям ГОСТ Р 59701.1.

Настоящий стандарт распространяется на измерения общей вибрации, передаваемой водителю транспортного средства (рабочей машины) через сиденье, а также через пол или платформу на ноги стоящего работника.

Настоящий стандарт распространяется на измерения локальной вибрации, передаваемой на руки работника через рукоятку ручной машины или устройство управления. При необходимости установленный метод может быть применен для измерений локальной вибрации, передаваемой на руки работника через обрабатываемую деталь или на ноги через педаль ножного управления.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 31191.1 (ИСО 2631-1:1997) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 31192.1 (ИСО 5349-1:2001) Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 31192.2—2005 (ИСО 5349-2:2001) Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Требования к проведению измерений на рабочих местах

ГОСТ 31319—2006 (ЕН 14253:2003) Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах

ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ ИСО 10326-1 Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования

ГОСТ Р 59701.1—2022 (ИСО 8041-1:2017) Вибрация. Средства измерений общей и локальной вибрации. Часть 1. Виброметры общего назначения

ГОСТ Р 70105 Вибрация. Вспомогательные технические устройства для измерений общей и локальной вибрации. Руководство по применению

ГОСТ Р ИСО 2041 Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения

Издание официальное

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 2041, ГОСТ Р 59701.1 и [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **локальная вибрация:** Вибрация, непосредственно передаваемая на систему «кисть — рука» человека от объекта обработки или управления (например, ручной машины, рычага переключения скоростей, шлифуемой детали) при выполнении рабочей операции.

Примечание — Согласно ГОСТ 31192.1 вибрацию, воздействующую на ноги водителя через ножные органы управления, также относят к локальной.

3.2 **общая вибрация:** Вибрация от опорной поверхности или поверхностей для отдельных участков тела человека (ягодиц, спины, ступней ног), воздействующая на все тело в целом.

3.3 **эквивалентное ускорение $A(8)$, м/с^2:** Эквивалентное ускорение $A(8)$ по ГОСТ 31319 для общей вибрации или вибрационная экспозиция за смену $A(8)$ по ГОСТ 31192.2 для локальной вибрации.

Примечания

1 Определяют по формуле

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} a_w^2(t)\,dt}, \qquad (1)$$

где $a_w(t)$ — корректированное ускорение с соответствующей частотной коррекцией по ГОСТ 31191.1 для общей вибрации и по ГОСТ 31192.1 для локальной вибрации, м/с^2;

t — время, с;

T_0 — длительность рабочей смены, принятая равной 28800 с (8 ч).

2 В случае локальной вибрации $a_w(t)$ определяют по формуле

$$a_w(t) = \sqrt{a_{wx}^2(t) + a_{wy}^2(t) + a_{wz}^2(t)}, \qquad (2)$$

где $a_{wx}(t)$, $a_{wy}(t)$, $a_{wz}(t)$ — корректированные ускорения в направлении осей базицентрической системы координат x, y и z соответственно (см. ГОСТ 31192.1).

3.4 **виброметр:** Средство измерений вибрации, применяемое в целях оценки ее воздействия на человека.

3.5 **влияющий фактор:** Условие, предмет или явление, способное оказать влияние на результат измерений и описываемое одной или несколькими влияющими величинами.

Пример — Ручной инструмент, средство измерений, изменение условий окружающей среды.

Примечание — Разным влияющим факторам соответствуют разные входные величины (влияющие величины) в модели измерений по ГОСТ 34100.3, представляемые в виде случайных переменных и вносящие вклады в общую неопределенность измерения. Поэтому вместо термина «влияющий фактор» часто используют термин «источник неопределенности».

4 Общие принципы

4.1 Схема оценивания неопределенности измерения

Оценивание неопределенности измерений в настоящем стандарте основано на общем руководстве, установленном ГОСТ 34100.3. Это руководство предполагает применение в измерительных задачах, в которых:

а) определению подлежит заданная величина, характеризуемая единственным значением, или параметр распределения величины, которая может принимать множество значений. В настоящем стандарте рассматривается только первая из этих ситуаций (см. раздел 5);

б) известна модель измерения, связывающая функциональной зависимостью измеряемую величину (выходная величина модели) с влияющими величинами (входные величины). Знание возможного разброса значений влияющих величин позволяет оценить возможные изменения измеряемой величины на основе заданной модели измерений.

Примечание 1 — Знание, точное или приближенное, действительных значений влияющих факторов теоретически позволяет внести соответствующие поправки в результат измерения и уменьшить его неопределенность, однако в задачах оценки воздействия вибрации на работника такие поправки не вносят, даже если влияющие факторы подлежат контролю в процессе измерения.

Характеристикой неопределенности измерения, определяемой в соответствии с настоящим стандартом, является относительная стандартная неопределенность для измеряемой величины A(8), представляющая собой относительное стандартное отклонение (или коэффициент вариации) распределения, приписанного этой величине. Согласно ГОСТ 34100.3 в качестве закона распределения для измеряемой величины выбирают нормальное распределение.

Примечание 2 — При необходимости по значению относительной стандартной неопределенности может быть рассчитана относительная расширенная неопределенность для заданного коэффициента охвата.

Исходными данными для расчета относительной стандартной неопределенности измеряемой величины являются стандартные неопределенности влияющих величин, получаемые на основе распределений, приписанных этим величинам. Эти стандартные отклонения в соответствии с ГОСТ 34100.3 могут быть получены либо экспериментальным путем (оценивание по типу А), либо на основе имеющейся информации о соответствующих влияющих факторах (оценивание по типу В).

Примечание 3 — Относительные стандартные неопределенности для влияющих величин не являются коэффициентами вариации соответствующих распределений, математические ожидания которых предполагают равными нулю, а определяются отношением стандартного отклонения распределения к значению, полученному в результате измерения.

Примечание 4 — Если влияющие величины являются взаимозависимыми (коррелированными), то помимо стандартных неопределенностей необходимо знать также их ковариации.

Если влияющую величину x оценивают по типу А усреднением на основе n, $n > 3$, наблюдений $\{x_i\}$, выполненных в номинально идентичных условиях измерений, то этой величине приписывают масштабированное смещенное распределение Стьюдента с $(n - 1)$ степенями свободы, стандартное отклонение которого вычисляют по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{n-1}{n-3}}\, s/\sqrt{n}\,, \tag{3}$$

где s — выборочное стандартное отклонение, рассчитываемое по формуле

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}\,, \tag{4}$$

$\overline{x}$ — выборочное среднее, рассчитываемое по формуле

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\,. \tag{5}$$

Рассчитанное таким образом стандартное отклонение принимают за стандартную неопределенность для данной влияющей величины.

Возможности испытательной лаборатории самостоятельно оценить неопределенности входных величин модели измерения для конкретной измерительной задачи обычно ограничиваются варьированием только некоторых влияющих факторов, сбора данных наблюдений и последующим использованием формул (3)—(5). Для факторов, которые обычно присутствуют в модели измерений, но сложных для оценивания испытательной лабораторией в настоящем стандарте даны некоторые ориентировочные числовые оценки, основанные на имеющихся результатах исследований и межлабораторных испытаниях. Эти оценки в основном применимы для результатов измерений, близких к предельно допустимым значениям вибрации. В случаях, когда результат измерений в несколько раз меньше или, наоборот, больше предельно допустимого значения, неопределенность измерения может быть выше.

4.2 Ошибки измерения

Помимо влияющих факторов влияние на результат измерения оказывают также ошибки измерения. В отличие от воздействия влияющих факторов, которого невозможно избежать, но которое можно оценить, влияние ошибок измерения на результат измерения непредсказуемо. Поэтому лицо, проводящее измерения, должно строго контролировать правильность проведения измерений в соответствии с ГОСТ 31192.2 или ГОСТ 31319 и своевременно устранять источники возможных ошибок измерения.

Некоторые типичные ошибки измерения перечислены в ГОСТ 31192.2—2005 (подраздел 6.2) для локальной вибрации и ГОСТ 31319—2006 (подраздел 6.3) для общей вибрации. Более подробный перечень приведен в приложении А.

5 Измеряемая величина и ее неопределенность

5.1 Общие положения

Строгое определение измеряемой величины $A(8)$ зависит от того, каким образом определен рабочий день, для которого проводят измерения. С точки зрения оценки долговременного воздействия вибрации предпочтительной является концепция номинального (смоделированного) рабочего дня (см. 5.2). Все расчеты и примеры в настоящем стандарте приведены для этого случая.

Иногда, однако, интерес может представлять оценка $A(8)$ для конкретного (реального) рабочего дня. Процедуры измерений и расчетов для реального рабочего дня будут те же, что и для номинального рабочего дня, за исключением того, что испытательная лаборатория должна будет самостоятельно оценить время выполнения каждой рабочей операции, для которой проводят измерения вибрации, вместе с соответствующей неопределенностью (см. ГОСТ 31319 для общей и ГОСТ 31192.2 для локальной вибрации). В данном случае время выполнения операции будет дополнительной влияющей величиной в модели измерений.

Пример расчета неопределенности измерения для $A(8)$ на основе данных, полученных в процессе измерения, и оценок влияющих величин, рассмотренных в разделе 6, приведен в приложении Б.

5.2 Номинальный рабочий день

5.2.1 Формирование номинального рабочего дня

Обычно измерения вибрации выполняют с целью оценки ее типичного долговременного воздействия на данном рабочем месте. В этом случае интерес представляет измерения вибрации не в произвольно выбранный рабочий день, поскольку результаты таких измерений могут существенно отличаться день ото дня, а для некоторого номинального рабочего дня, который можно рассматривать как некоторый «средний» рабочий день с точки зрения выполняемых рабочих операций и их длительностей на достаточно продолжительном интервале времени, который может включать в себя недели, месяцы и даже годы.

Примечание 1 — В ГОСТ 31192.2 и ГОСТ 31319 такой день назван типичным рабочим днем.

Примечание 2 — Даже в том случае, когда заданный номинальный рабочий день является представительным для данного работника, к использованию полученного в ходе измерений значения $A(8)$ с точки зрения долговременного воздействия вибрации следует относиться осторожно, поскольку оно получено для того состояния работника, какое было в момент измерений. В процессе трудовой деятельности могут изменяться как характеристики тела работника, так и навыки его работы, что может привести к существенному изменению величины $A(8)$.

Сформированный номинальный рабочий день должен представлять собой набор хорошо описанных рабочих операций с указанием времени воздействия вибрации при выполнении каждой такой

операции и при необходимости условий окружающей среды (температуры, давления, относительной влажности воздуха, погодных условий).

Примечание 3 — Время воздействия вибрации в процессе выполнения рабочей операции не следует путать с продолжительностью этой операции, которая в некоторых случаях может быть много больше.

Следует иметь в виду, что составление номинального рабочего дня и выполнение измерений вибрации на рабочем месте являются разными задачами, которые в общем случае выполняют разные лица в соответствии с возложенной на них ответственностью. Неправильно сформированный рабочий день может привести к тому, что полученная оценка вибрации не будет представительной для ее долговременного воздействия на данном рабочем месте. Но это обстоятельство не следует рассматривать как влияющий фактор с точки зрения неопределенности измерения, поскольку измерение предполагает наличие строгого определения измеряемой величины (см. 4.1), которое основано на сформированном номинальном рабочем дне.

Примечание 4 — На практике может оказаться, что испытательная лаборатория, проводящая измерения, участвует также в составлении номинального рабочего дня. Но и в таком случае эта задача будет иной, нежели проведение измерений, и она не должна рассматриваться с точки зрения неопределенности измерения.

В настоящем стандарте предполагается, что номинальный рабочий день всегда может быть представлен в виде совокупности рабочих операций. В некоторых случаях разбиение рабочего дня на операции неочевидно. Так, водитель грузового автомобиля в течение всего рабочего дня может быть занят перевозкой грузов. В этом случае номинальный рабочий день может быть сформирован, например, как совокупность поездок по разным дорожным покрытиям.

5.2.2 Рабочие операции

В стандартах на методы измерений ГОСТ 31192.2 и ГОСТ 31319 рабочие операции определены таким образом, чтобы обеспечить измерение $A(8)$. Однако если целью измерения является получение не только одночисловой характеристики $A(8)$, но также информации о неопределенности измерения, то понятие рабочей операции и связанные с ним методы измерений нуждаются в коррекции. Это связано с тем, что при выполнении даже достаточно точно определенной рабочей операции наблюдается варьирование производимой вибрации. Оно может быть обусловлено изменением многочисленных факторов (жесткости обрабатываемого материала, состоянием рабочего инструмента, позой работника и т. п.), которые сложно контролировать в практических измерениях. Чтобы описать влияние указанных факторов в качестве влияющего фактора рассматривают саму переменную вибрацию, а в качестве соответствующей влияющей величины — изменения ускорения вибрации при выполнении номинально строго определенной рабочей операции.

Чтобы держать фактор изменения вибрации под контролем и иметь возможность оценить его вклад в общую неопределенность измерения, рекомендуется:

- исследовать изменение вибрации в ходе выполнения одной операции и по возможности разбить эту операцию на подоперации, для которых среднеквадратичное значение корректированного ускорения остается приблизительно постоянным;
- рассматривать эти подоперации как отдельные рабочие операции и проводить для них повторные измерения в ходе общего измерения $A(8)$ (см. 6.2.3).

Это отличается от рекомендации ГОСТ 31192.2—2005 (пункт 5.3.1) проводить продолжительные измерения вибрации изменяющегося уровня во время выполнения одной рабочей операции.

Примеры

1 Для водителя грузового автомобиля, выполняющего перевозку грузов, одну рабочую операцию перевозки рекомендуется разделить на несколько подопераций, например, соответствующих движению автомобиля по разным дорожным покрытиям и/или в разных условиях интенсивности дорожного движения.

2 В примере из ГОСТ 31192.2—2005 (пункт Е.2.2) описана рабочая операция, состоящая из шлифования 100 отливок, во время которого работник сначала шлифует отливку по ободу, а потом по лицевым сторонам. Если динамическая жесткость обода и лицевой стороны различны, это может привести к разным уровням вибрации при их шлифовании. В таком случае целесообразно указанную операцию разделить на две подоперации — шлифование 100 отливок по ободу и шлифование 100 отливок по лицевым сторонам.

Если, однако, выделить подоперации с приблизительно одинаковым уровнем вибрации не представляется возможным, то рекомендуется увеличить время каждого отдельного измерения среднеква-

дратичного значения корректированного ускорения для уменьшения вариации получаемых результатов, сохранив при этом возможность проведения повторных измерений во время выполнения каждой рабочей операции.

5.3 Измеряемая величина

Измеряемой величиной согласно ГОСТ 31191.1 и ГОСТ 31192.1 является эквивалентное ускорение $A(8)$, м/с^2, для номинального рабочего дня по 5.2, теоретически определяемое формулой (1). Однако с учетом представления номинального рабочего дня как совокупности заданных операций заданной длительности с точки зрения практических измерений и расчета неопределенности измерения эквивалентное ускорение может быть определено по формуле

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0}\sum_{i=1}^{N} a_{w,i}^2 T_i}\,, \tag{6}$$

где $a_{w,i}$ — среднеквадратичное значение корректированного ускорения для i-й рабочей операции, м/с^2;

T_i — время воздействия вибрации при выполнении i-й операции, с;

N — общее число рабочих операций в течение номинального рабочего дня.

Из формулы (6) следует, что эквивалентное ускорение за смену включает в себя две физические величины: ускорение вибрации и время. Исходя из этого в ГОСТ 31191.1 и ГОСТ 31192.1 сделан вывод, что неопределенность измерения $A(8)$ должна включать в себя неопределенности, связанные с измерениями как ускорения, так и времени. Однако согласно 5.1 время воздействия вибрации для каждой рабочей операции должно быть определено и зафиксировано до проведения измерений. Испытательной лаборатории, проводящей измерения, нет необходимости дополнительно измерять время воздействия вибрации, поэтому неопределенность, связанная с временем воздействия, в настоящем стандарте не рассматривается.

С учетом дальнейших преобразований формулу (6) удобно представить в виде

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} c_i a_{w,i}^2}\,, \tag{7}$$

где $c_i = T_i/T_0$ — относительное время выполнения i-й рабочей операции в течение номинального рабочего дня, рассматриваемое как постоянный коэффициент.

5.4 Модели измерений и расчет неопределенности

Формула (7) представляет собой модель измерения, согласно которой рассчитывают стандартную неопределенность $u[A(8)]$ для измеряемой величины $A(8)$ на основе знаний о распределении входных величин $a_{w,i}$.

Примечание — С точки зрения модели измерения входящие в них величины рассматриваются как случайные переменные с соответствующими законами распределения.

Однако следует учесть, что входные величины $a_{w,i}$ не являются независимыми, поскольку сами могут зависеть от одних и тех же влияющих величин. Примером влияющей величины, общей для всех $a_{w,i}$, является инструментальная неопределенность.

Согласно ГОСТ 34100.3 избежать использования ковариаций при расчете суммарной стандартной неопределенности $u[A(8)]$ можно, если в модель измерения ввести в явном виде влияющие величины $\{x_j\}$, $j = 1, \ldots, l$, общие для всех $a_{w,i}$. Принимая, что неопределенность, обусловленная x_j, растет пропорционально $a_{w,i}$, каждую влияющую величину $a_{w,i}$ можно определить по формуле

$$a_{w,i} = \left(1 + \sum_{j=1}^{l} x_j\right) \tilde{a}_{w,i}(z_{i,k}), \tag{8}$$

где $\tilde{a}_{w,i}(z_{i,k})$ — входная величина в модели измерения, описываемой формулой (7), зависящая от влияющих величин $\{z_{i,k}\}$, $k = 1, \ldots, m$, определяемых для каждой i-й рабочей операции отдельно.

Поскольку $\tilde{a}_{w,i}(z_{i,k})$ зависит от своих влияющих величин $\{z_{i,k}\}$, расчет неопределенности измерения для $A(8)$ представляет собой двухэтапную процедуру:

1) сначала на основе модели измерения для каждой $\tilde{a}_{w,i}$ рассчитывают стандартную неопределенность $u(\tilde{a}_{w,i})$ на основе стандартных неопределенностей $u\{z_{i,k}\}$;

2) затем на основе полученных значений $u(\tilde{a}_{w,i})$ и относительных стандартных неопределенностей $u(x_j)$ рассчитывают $u[A(8)]$.

Модель измерения для $\tilde{a}_{w,i}$ представляет собой линейную зависимость с единичными коэффициентами чувствительности (см. [2]). Если влияющие величины $\{z_{i,k}\}$ также рассматривать пропорциональными $\tilde{a}_{w,i}$, то эту модель можно представить в виде формулы

$$\tilde{a}_{w,i} = \bar{a}_{w,i}\left(1 + \sum_{k=1}^{m} z_{i,k}\right), \tag{9}$$

где $\bar{a}_{w,i}$ — результат измерения среднеквадратичного значения корректированного ускорения $a_{w,i}$ при выполнении работником i-й рабочей операции.

Поскольку ГОСТ 34100.3 распространяется только на линейные модели измерений, модель, описываемая формулой (7), также должна быть линеаризована. Тогда относительную стандартную неопределенность $u[A(8)]$ можно рассчитать по формуле

$$u[A(8)] = \left[\sum_{j=1}^{J} u^2(x_j) + \frac{1}{\overline{A(8)}^4}\sum_{i=1}^{N} c_i^2 \bar{a}_{w,i}^4 u^2(\tilde{a}_{w,i})\right]^{1/2}, \tag{10}$$

где $\overline{A(8)}$ — результат расчета $A(8)$ на основе полученных в ходе измерений значениях $\bar{a}_{w,i}$ с использованием формулы (7);

$u(x_j)$ — относительная стандартная неопределенность для влияющей величины x_j;

$u(\tilde{a}_{w,i})$ — относительная стандартная неопределенность для $\tilde{a}_{w,i}$, рассчитываемая по формуле

$$u(\tilde{a}_{w,i}) = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} u^2(z_{i,k})}, \tag{11}$$

где $u(z_{i,k})$ — относительная стандартная неопределенность для влияющей величины $z_{i,k}$

Разбиение влияющих величин на два класса $\{x_j\}$ и $\{z_{i,k}\}$ не всегда возможно. Так, некоторые из влияющих величин могут быть общими не для всех, а только для некоторых из N рабочих операций. В этом случае формулы (10) и (11) следует соответствующим образом скорректировать (см. пример в Б.2).

6 Влияющие факторы и влияющие величины

6.1 Общие положения

Из формул (10) и (11) видно, что относительную стандартную неопределенность $u[A(8)]$ для $A(8)$ рассчитывают по относительным стандартным неопределенностям для влияющих величин, характерных для каждой рабочей операции.

В свою очередь, все влияющие величины можно разбить на две категории:

- влияющие одинаковым образом на все или несколько рабочих операций, составляющих номинальный рабочий день (x-величины);
- влияющие только на конкретную рабочую операцию (z-величины).

Влияющие величины соответствуют своим влияющим факторам. При этом каждому фактору может соответствовать от одной влияющей величины (если она является x-величиной или если она является z-величиной, но данный фактор существенен только для одной рабочей операции) до влияющих величин (если данный фактор существенен для всех рабочих операций и для каждой из них проявляется независимо).

В стандартах на методы измерений ГОСТ 31319 и ГОСТ 31192.2 указан ряд факторов, которые могут оказать влияние на измерения $A(8)$. Часть этих факторов подробно рассматривается в настоящем разделе. Другие факторы, которые сложно контролировать по-отдельности, объединены и рассматриваются совместно (например, в виде фактора изменения вибрации при выполнении рабочей операции). При этом важно иметь в виду, что в число рассматриваемых факторов следует включать только те, что обеспечивают изменения первого порядка малости по сравнению с измеряемой вели-

чиной. Факторы, которым соответствуют второй и более высокие порядки малости в расчет принимать нет необходимости.

В настоящем разделе рассматриваются только влияющие факторы, наиболее существенные для большинства практических измерений.

Примечание 1 — Строго говоря, «чистой» x-величины не существует. Даже если ее влияние на измеряемую величину преимущественно одинаково для всех рабочих операций, всегда есть некоторые вариации этого влияния для отдельных рабочих операций. Однако эти вариации в большинстве случаев имеют второй порядок малости и поэтому в настоящем стандарте в рассмотрение не принимаются.

В таблице 1 приведены влияющие факторы согласно ГОСТ 31319—2006 (пункт 7.1), ГОСТ 31192.2—2005 (пункт 7.1) и настоящему стандарту. В ней не рассматриваются такие факторы, как состав рабочих операций и время воздействия вибрации в процессе выполнения этих операций (см. 5.2.1).

Таблица 1 — Влияющие факторы

Влияющие факторы по ГОСТ 31319 и ГОСТ 31192.2	Пункт настоящего стандарта
Средство измерений	6.2.1
Калибровка	
Электрические помехи	
Крепление и масса акселерометра	
Место и способ установки акселерометра	6.2.2
Состояние рабочего инструмента (для локальной вибрации) и машины (для общей вибрации)	6.2.3
Поза работника и прилагаемые силы	
Свойства объекта обработки (для локальной вибрации) и дорожного покрытия (для общей вибрации)	

Примечание 2 — В таблицу 1 не включены указанные в ГОСТ 31319 и ГОСТ 31192.2 влияющие факторы, связанные с изменением условий работы работника из-за того, что тот является субъектом измерений. Это связано с тем, что данный фактор невозможно проконтролировать и учесть в процессе измерений, т. е. согласно 4.2 он относится к ошибкам измерений (см. приложение А). Избежать данной ошибки можно, если убедиться, что процесс измерений не влияет существенно на производительность труда работника.

Примечание 3 — В таблицу 1 включены влияющие факторы, которые в случае локальной вибрации относятся к измерениям полной вибрации [см. формулу (2)]. Все процедуры и расчеты настоящего стандарта могут быть применены также в случае оценивания $A(8)$ для каждого компонента локальной вибрации по отдельности. Однако при этом в число влияющих факторов необходимо дополнительно включить отклонение оси измерений от базицентрической системы координат по ГОСТ 31192.1. Эти отклонения могут быть обусловлены как неточной установкой преобразователя вибрации, так и изменением самой системы координат при изменениях положения кисти работника в ходе выполнения рабочей операции. Ориентировочно вклад этого влияющего фактора может быть принят равным вкладу от вариации места и способа установки акселерометра (см. 6.2.2).

Влияющие факторы, существенные для оценки неопределенности измерения $A(8)$ и оценки влияющих величин рассматриваются в 6.2. Числовые значения оценок основаны на результатах сравнительных испытаний для машин разных видов. Они даны в предположении, что измерения проводят опытные и квалифицированные специалисты. Примеры использования этих оценок при расчете неопределенности измерения приведены в приложении Б.

6.2 Влияющие факторы и оценки типичных влияющих величин

6.2.1 Средство измерений

В процессе измерений, как правило, используют одно и то же средство измерений (виброметр) для всех рабочих операций. По этой причине соответствующую влияющую величину рассматривают как x-величину.

Инструментальная неопределенность зависит от степени соответствия метрологических характеристик виброметра их номинальным значениям, внешних воздействующих факторов (климатических, постоянных и переменных электромагнитных полей и т. п.), применяемых акселерометров и устройств их крепления. Предполагается, что применяемый виброметр калиброван согласно рекомендациям изготовителя, соответствует требованиям ГОСТ Р 59701.1, а акселерометр — рекомендациям ГОСТ Р 59701.1—2022 (приложение Е). При выполнении этих условий для большинства практических измерений можно считать, что относительное стандартное отклонение u_{instr}, обусловленное применяемым средством измерений, не будет превышать 12 %. Данную оценку можно применять для расчета неопределенности измерения по 5.4.

Если, однако, изготовитель виброметра в сопроводительной документации указывает иную оценку инструментальной неопределенности, то следует руководствоваться значением, указанным изготовителем.

6.2.2 Место и способ установки акселерометра

6.2.2.1 Общие положения

Правила выбора точек измерений и способов установки акселерометра приведены в стандартах на методы измерений — ГОСТ 31319 для общей и ГОСТ 31192.2 для локальной вибрации.

Соответствующая влияющая величина может быть как x-, так и z-величиной. Например, при измерениях вибрации на сидении водителя транспортного средства обычно используют один и тот же полужесткий диск с установленным в нем акселерометром, который удовлетворяет требованиям ГОСТ ИСО 10326-1. Его установка оказывает одинаковое влияние на измерения для всех режимов работы транспортного средства (рабочих операций), т. е. соответствующая влияющая величина является x-величиной. То же самое можно сказать в случае, когда измерения вибрации выполняют на рукоятке ручного инструмента, применяемого работником для разных рабочих операций. Если же рабочие операции предполагают замену ручного инструмента, то месту и способу установки акселерометра будет соответствовать своя z-величина для каждого инструмента (рабочей операции).

Влияние выбора места и способа установки акселерометра можно оценить, осуществляя их варьирование и выполняя повторные измерения вибрации. Однако оценки, полученные на основе анализа разброса результатов измерений, можно рассматривать только в качестве ориентировочных, поскольку они не учитывают общее смещение, которое для рассматриваемого фактора может быть значительным.

Влияние данного фактора в отношении локальной и общей вибрации имеет свои особенности, поэтому рассматривается по отдельности.

6.2.2.2 Локальная вибрация

Для точной передачи вибрации поверхности рукоятки требуется жесткая механическая связь между вибрирующей поверхностью и акселерометром. Однако при измерениях локальной вибрации бывает сложно избежать появления локальных резонансов, особенно в случае, когда связь рукоятки с адаптером акселерометра обеспечивается прижимной силой кисти работника, а поверхность рукоятки покрыта упругим материалом. В отношении рекомендаций по креплению акселерометра к рукоятке ручного инструмента см. ГОСТ Р 59701.1—2022 (приложение F).

Еще одним источником неопределенности будет то, что измеряемой величиной в процессе выполнения каждой рабочей операции является среднеквадратичное значение корректированного ускорения на поверхности рукоятки, усредненное по площади обхвата рукой работника. Таким образом, измерение только в одной точке, даже расположенной посередине зоны обхвата, уже является источником неопределенности. Ситуация усугубляется тем, что в практических ситуациях крепление акселерометра зачастую выполняют с одной из сторон вблизи зоны обхвата или на стороне рукоятки, противоположной зоне обхвата, чтобы не создавать помех работнику при выполнении рабочей операции. При этом положение кисти работника относительно точки измерений во время этой операции также может изменяться.

Если крепление акселерометра осуществляют приблизительно посередине зоны обхвата с применением устройства жесткой фиксации, то соответствующее относительное стандартное отклонение u_{coupl} обычно не будет превышать 10 %, и это значение можно использовать для расчета неопределенности измерения по 5.4. В противном случае значение u_{coupl} принимают равным 18 %.

Изготовителем виброметра в сопроводительной документации могут быть указаны результаты испытаний крепления акселерометра в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 59701.1—2022 (приложение F). В этом случае руководствуются данными изготовителя.

6.2.2.3 Общая вибрация

Для измерений общей вибрации на сидении при соблюдении требований к полужесткому диску по ГОСТ ИСО 10326-1 значение соответствующего относительного стандартного отклонения u_{coupl} может быть принято равным 12 %.

При измерениях вибрации пола или платформы, на которой стоит работник, рекомендуется оценку u_{coupl} получить по результатам повторных наблюдений, перемещая установочный диск по всей области, где может находиться работник при выполнении рабочей операции.

Допускается указанные перемещения установочного диска выполнять для каждого повторного наблюдения согласно 6.2.3. В этом случае неопределенность, обусловленная местом установки акселерометра, войдет в общую неопределенность, оцениваемую по типу А. При этом u_{coupl} отдельно не оценивают и в модель измерений не включают.

6.2.3 Повторяемость вибрации

Повторяемость вибрации для каждой рабочей операции, входящей в номинальный рабочий день, оценивают по отдельности. Соответствующая влияющая величина всегда будет z-величиной. Ее стандартную неопределенность рассчитывают как σ по результатам повторных измерений в соответствии с формулами (3)—(5), а относительную стандартную неопределенность u_{repeat} для данной рабочей операции получают делением σ на среднее значение среднеквадратичного корректированного ускорения по всем измерениям для данной операции

Для получения u_{repeat} рекомендуется выполнять пять измерений, время проведения которых выбрано случайным образом на периоде выполнения данной рабочей операции в течение рабочего дня.

Теоретически значение u_{repeat} для некоторой или для нескольких рабочих операций может быть уменьшено за счет увеличения числа измерений во время выполнения этих операций, однако к такому способу снижения u_{repeat} следует подходить с осторожностью, поскольку в течение одного дня обычно не удается добиться варьирования всех факторов повторяемости вибрации (см. 5.2.2). Если значение u_{repeat} для какой-то рабочей операции вносит доминирующий вклад в оценку неопределенности для $A(8)$, то для его уменьшения следует рассмотреть возможность проведения измерений в разные рабочие дни или искусственного варьирования влияющих факторов, указанных в 5.2.2. Например, возможным решением было бы проведение измерений в течение пяти рабочих дней — по два измерения в каждый (с учетом практической целесообразности). Однако следует иметь в виду, что увеличение числа измерений при максимальном варьировании влияющих факторов не всегда ведет к снижению значения u_{repeat}.

7 Регистрация и использование данных о неопределенности измерения

Относительную стандартную неопределенность $u[A(8)]$, рассчитанную по формулам (10) и (11) на основе значений u_{instr}, u_{coupl} и u_{repeat}, вместе с $A(8)$ указывают в протоколе испытаний согласно ГОСТ 31319—2006 (раздел 9) для общей и ГОСТ 31192.2—2005 (раздел 9) для локальной вибрации. При этом должно быть ясно указано, что характеристикой неопределенности для эквивалентного ускорения является относительная стандартная неопределенность. Значение $u[A(8)]$ должно быть приведено с точностью до двух значащих цифр с использованием обычного округления.

В протоколе испытаний вместе с ссылкой на стандарт на метод измерений (ГОСТ 31319 или ГОСТ 31192.2) должна присутствовать ссылка на настоящий стандарт.

Если законодательством не установлено иное, то при проверке соответствия установленным требованиям к эквивалентному ускорению $A(8)$ полученную оценку $u[A(8)]$ в решающее правило не включают, т. е. с предельно допустимым значением эквивалентного ускорения сравнивают непосредственно результат измерения $A(8)$. Оценку $u[A(8)]$ приводят для подтверждения качества выполненного измерения. Законодательством могут быть установлены требования к предельному значению $u[A(8)]$.

Приложение А
(справочное)

Ошибки при измерениях вибрации

А.1 Общие положения

Общим правилом, позволяющим свести к минимуму ошибки при проведении измерений, является привлечение к измерениям квалифицированного персонала, имеющего опыт измерений вибрации на рабочем месте. Этот персонал должен обладать способностью как к качественному выполнению измерений в соответствии с требованиями соответствующего стандарта на метод измерений, так и к оценке номинального рабочего дня с точки зрения соблюдения условий измерений, оценки влияющих факторов и правильного распределения времени измерений в течение одного или нескольких рабочих дней.

А.2 Ошибки в применении виброметра

В числе характерных ошибок, связанных с применяемым виброметром, на практике наиболее часто встречаются следующие:

- неправильная настройка виброметра перед проведением измерений.

Примеры — Неправильный выбор функции частотной коррекции в меню виброметра; применение виброметра с калибровочными настройками, не соответствующими используемому акселерометру;

- несоответствующее метрологическое и техническое обслуживание средства измерений.

Пример — Неосторожное обращение с акселерометром (например, падение акселерометра с большой высоты на жесткую поверхность пола), приводящее к изменению его метрологических характеристик, которое не будет обнаружено без процедуры проверки работоспособности средства измерений;

- повреждение элемента (элементов) измерительной цепи.

Пример — Нарушение контакта измерительного кабеля в месте соединения с акселерометром, повреждение сигнального кабеля;

- измерения в условиях, не предусмотренных технической документацией на средство измерений.

Пример — Измерения вне диапазона температур, указанного изготовителем виброметра;

- работа виброметра за пределами допустимых значений вибрации.

Пример — Снятие показаний виброметра при наличии индикации перегрузки;

- несоответствующее крепление акселерометра.

Пример — Фиксация адаптера на рукоятке ручной машины или устройстве ручного управления с помощью изоляционной ленты;

- слишком малое время однократных измерений (наблюдений).

Пример — Проведение однократного измерения общей вибрации в течение времени менее 30 с;

- установка акселерометра без соблюдения требований к направлению измерительных осей относительно базицентрической системы координат (в случае измерений локальной вибрации для каждой измерительной оси по отдельности).

А.3 Ошибки в проведении измерений

При проведении измерений наиболее характерными являются следующие ошибки:

- изменение типичных условий труда работника вследствие проведения измерений.

Пример — Размещение акселерометра с адаптером, мешающее нормальному обхвату рукоятки ручной машины кистью работника и приложению к ней обычного усилия для выполнения рабочей операции;

- измерение вибрации в момент отсутствия контакта руки или тела работника с вибрирующей поверхностью (подробнее см. в ГОСТ Р 70105).

Приложение Б
(справочное)

Примеры расчета неопределенности измерения

Б.1 Пример расчета неопределенности измерения локальной вибрации

Номинальный рабочий день для работника включал в себя имитации операций шлифования и полирования изделия на заготовках с поверхностью, однородной по своим физико-механическим характеристикам, с помощью двух ручных машин. Время воздействия вибрации при выполнении операции шлифования — 1 ч 10 мин, при выполнении операции полирования — 3 ч. Измерения проводились на рукоятке для правой руки работника, на которой наблюдалась более высокая вибрация.

При выполнении операции шлифования кисть работника время от времени изменяла свое положение на рукоятке машины, что потребовало установки акселерометра в стороне от зоны обхвата. При выполнении операции шлифования положение кисти работника было стабильным, и акселерометр был установлен посередине зоны обхвата с помощью адаптера, жестко зафиксированного на рукоятке машины металлическим хомутом.

При расчете неопределенности измерений для $A(8)$ были приняты следующие значения относительных стандартных неопределенностей (см. 6.2):

- $u_{instr} = 0{,}12$;
- $u_{coupl,1} = 0{,}18$ для операции шлифования (операция 1) и $u_{coupl,2} = 0{,}10$ для операции полирования (операция 2).

Для расчета $A(8)$ и u_{repeat} были проведены по пять измерений среднеквадратичного значения корректированного ускорения a_w для каждой из операции со случайным варьированием влияющих факторов (разные состояния вставного инструмента, разные моменты времени в течение всей рабочей смены). Результаты измерений приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 — Результаты измерений a_w для операций шлифования и полирования

Номер измерения i	Шлифование, a_{w1}, м/с^2	Полирование, a_{w2}, м/с^2
1	8,9	7,5
2	8,0	8,1
3	9,6	8,2
4	8,0	7,5
5	10,5	5,0

На основе результатов измерений по формулам (3)—(5) были рассчитаны параметры выборки и относительные неопределенности для фактора повторяемости вибрации, приведенные в таблице Б.2.

Таблица Б.2 — Результаты расчетов по данным таблицы Б.1

Параметр	Шлифование	Полирование
$\bar{a}_w$, м/с^2	9,00	7,26
s, м/с^2	1,08	1,31
σ, м/с^2	0,68	0,82
$u_{repeat} = \sigma/\bar{a}_w$	0,075	0,11

Относительное время операции шлифования — $c_1 = 0{,}146$, операции полирования — $c_2 = 0{,}375$. Расчет $A(8)$ по данным таблицы Б.1 в соответствии с формулой (7) дает $A(8) = \sqrt{0{,}146 \cdot (9{,}00)^2 + 0{,}375 \cdot (7{,}26)^2} = 5{,}6$ м/с^2.

На основе данных об относительных неопределенностях входных величин, результатов расчетов $\bar{a}_{w1}$, $\bar{a}_{w2}$ и $A(8)$ можно, подставляя формулу (11) в формулу (10), получить значение относительной неопределенности измерения для $A(8)$:

$$u[A(8)] = \left[(0{,}12)^2 + \frac{1}{(5{,}6)^4}\left[(0{,}146)^2(9{,}0)^4\left((0{,}18)^2 + (0{,}075)^2\right) + (0{,}375)^2(7{,}26)^4\left((0{,}10)^2 + (0{,}11)^2\right)\right]\right]^{1/2} = 0{,}17\,.$$

Или, выражая в процентах,

$$u[A(8)] = 17\ \%.$$

Б.2 Пример расчета в случае влияющей величины, общей для некоторых рабочих операций

Рассмотрим то же рабочее место, что в примере из Б.1, но добавим дополнительно операцию резки по металлу, выполняемую тем же инструментом, что и шлифование, с тем же расположением акселерометра, для которого принято значение $u_{coupl} = 0{,}18$, т. е. $u_{coupl,1} = u_{coupl,3} = 0{,}18$. Длительность операции резки равна 22 мин, т. е. $c_3 = 0{,}046$.

По результатам пяти измерений для операции резки с последующими расчетами, аналогичными приведенным в примере из Б.1, получены следующие данные:

$$\bar{a}_{w,3} = 17{,}7\ \text{м/с}^2;$$

$$u_{repeat,3} = 0{,}22;$$

$$A(8) = \sqrt{0{,}146 \cdot (9{,}00)^2 + 0{,}375 \cdot (7{,}26)^2 + 0{,}046 \cdot (17{,}7)^2} = 6{,}8\ \text{м/с}^2.$$

Теперь влияющая величина, характеризующая место и способ установки акселерометра, будет общей для операций шлифования (операция 1) и резки (операция 3), что, как указано в 5.4, требует соответствующих коррекций формул (10) и (11).

Применительно к рассматриваемой задаче эти формулы будут иметь вид:

$$u[A(8)] = \left[u_{instr}^2 + \frac{1}{A(8)^4} \left(\sum_{i=1}^{3} c_i^2 \bar{a}_{w,i}^4 u_{repeat,i}^2 + u_{coupl,1}^2 (c_1 \bar{a}_{w,1}^2 + c_3 \bar{a}_{w,3}^2)^2 + u_{coupl,2}^2 c_2^2 \bar{a}_{w,2}^4 \right) \right]^{1/2}.$$

Подстановка данных дает $u[A(8)] = 17\ \%$.

Библиография

[1] РМГ 29—2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

УДК 534.1:006.354

ОКС 13.160
17.160

Ключевые слова: рабочее место, вибрация, эквивалентное ускорение, неопределенность измерения, оценка

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 29.09.2023. Подписано в печать 17.10.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru