

В данном учебном пособии рассматриваются оценка неопределённости выполнения измерений при проведении градуировки и поверки термопар, термометра сопротивления, даются основные термины и определения оценки точности измерений температуры с помощью термопар и термометров сопротивления. Рассмотрены источники неопределённости и их характеристики. Приводятся расчетные формулы суммарной неопределённости измерения. Рекомендации, рассмотренные в данном пособии, могут быть использованы при выполнении дипломных, курсовых работ по метрологии, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ.

Пособие предназначено для студентов вузов, магистров, аспирантов, докторантов метрологических специальностей, преподавателей, работников испытательных лабораторий и метрологических служб. Оно также может быть полезно студентам вузов технических специальностей и специалистам в различных областях, занимающимся вопросами метрологического обеспечения, в пособии даны пояснения по применению и изложению материала учебных дисциплин «Технологические измерения и приборы», «Аналитические методы контроля» а также «Метрология, стандартизация и сертификация».



Сетметов Неъматжон Урунбоевич
Каландаров Палван Искандарович

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Каландаров Палван Искандарович – к.т.н, профессор,
профессор кафедры «Автоматизация и управление
технологическим процессом и производством» ТИИИМСХ.
Сетметов Неъматжон Урунбоевич - PhD по техническим наукам,
доцент кафедры «Телекоммуникационный инжиниринг»
Ургенчского филиала ТУИТ имени Мухаммада ал-Хорезмий.



LAP LAMBERT
Academic Publishing

Сетметов Неъматжон Урунбоевич
Каландаров Палван Искандарович

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Сетметов Неъматжон Урунбоевич
Каландаров Палван Искандарович**

**ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ИЗМЕРЕНИЙ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

FOR AUTHOR USE ONLY

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd., member of the OmniScriptum S.R.L
Publishing group

str. A.Russo 15, of. 61, Chisinau-2068, Republic of Moldova Europe

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-3-86141-9

Copyright © Сетметов Неъматжон Урунбоевич,
Каландаров Палван Искандарович

Copyright © 2021 Dodo Books Indian Ocean Ltd., member of the
OmniScriptum S.R.L Publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**УРГЕНЧСКИЙ ФИЛИАЛ
ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

П.И.Каландаров Н.У. Сетметов

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для студентов технических и технологических ВУЗов

2021

П.И. Каландаров, Н.У. Сетметов

Оценка неопределенности измерений – LAMBERT Academic Publishing, 2021, -52 с.

В данном учебно-методическом пособии рассматриваются оценка неопределённости выполнения измерений при проведении градуировки и поверки термодатчиков, термометра сопротивления, даётся основные термины и определения оценки точности измерений температуры с помощью термодатчиков и термометров сопротивления. Рассмотрены источники неопределенности и их характеристики. Приводятся расчетные формулы суммарной неопределённости измерения. Рекомендации, рассмотренные в данном пособии, могут быть использованы при выполнении дипломных, курсовых работ по метрологии, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ.

Пособие предназначено для студентов вузов, магистрам, аспирантам, докторантам, метрологических специальностей, преподавателям, работникам испытательных лабораторий и метрологических служб. Оно также может быть полезно студентам вузов технических специальностей и специалистам в различных областях, занимающихся вопросами метрологического обеспечения, где даны пояснения по применению и изложению материала учебной дисциплин «Технологические измерения и приборы», «Аналитические методы контроля» а также «Метрология, стандартизация и сертификация».

Илл.- 6, библиогр. назв.30, таблиц 14.

Рецензент: Кутлиев У.О.

Заведующий кафедрой «Физика» Ургенчского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент.

© Ургенчский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, 2021.

ВВЕДЕНИЕ

Теория погрешностей, сформировавшихся на основе теоретических и экспериментальных исследованиях, законодательно закреплённая в отечественных нормативных документах, до настоящего времени широко применяется при решении практических и метрологических задач.

Понятие «неопределенность» (англ. «Uncertainty»), появилось более 30 лет назад. Неопределенность и связанные с ней величины (стандартная неопределенность, расширенная неопределенность и т.д.), в последнее время широко используются при представлении результатов измерений, особенно в европейских странах. Неопределенность измерений становится главным и объединяющим понятием, относящимся к качеству аналитических данных.

Так, понятие неопределенности фигурирует в ряде нормативных документов, а также и достаточно опубликованы ряд научно-методических разработок, и даются пояснения и комментарии этому термину [1-3].

В национальной стандартизации пока не приняты стандарты, однако в странах СНГ например в России введен только один стандарт понятие «неопределенность измерения» в методику поверки рабочих термометров сопротивления – ГОСТ Р 8.625-2006 (Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний).

Оценка «неопределенности измерений» (measurement uncertainty) представляется достаточно важной при проведении технических измерений и является определяющей при проведении измерений с повышенной точностью, т.е. датчиками с индивидуальной градуировкой, т.к. отсутствие учета влияния всех компонентов измерительной схемы на расширенную неопределенность измерения может привести к ложному трактованию полученных результатов измерений.

Концепция «неопределенность измерений» получила широкое распространение во всем мире и введена как обязательное условие при аттестации поверочных лабораторий по международному стандарту ИСО/МЭК 17025.

Понятие **«неопределенность измерений»** введено в практику описания точности средств измерений взамен термина «погрешность измерений».

Основное различие двух терминов состоит в том, что оценка точности дается не по отклонению от «истинного значения» величины (погрешность), а по разбросу значений, которые могут с определенной вероятностью (как правило 95%) быть приписаны результату измерений (неопределенность).

Это можно проиллюстрировать следующим примером: единица массы, килограмм, определяется его международным эталоном, металлическим цилиндром, хранящимся в Международном бюро мер и весов (МБМВ). Копии этого эталона используются в качестве национальных эталонов килограмма.

Копии не являются совершенными и их массы слегка отличаются от международного эталона. Предположим, что масса копии X равняется $1 \text{ кг} + 0,01 \text{ мг}$, поэтому точность копии - $0,01 \text{ мг}$. Но эта информация не является полной, потому что разница между значениями массы эталона и его копии была определена измерительным инструментом (весами), и измерительный процесс также несовершенен. Всегда имеются какие-то случайные различия (например, маленькие отклонения в условиях окружающей среды) и некоторое несовершенство измерительных приборов.

Повторяемые измерения при явно идентичных условиях будут показывать (слегка) различные результаты. Вместо $1 \text{ кг} + 0,01 \text{ мг}$, весы могут показать $1 \text{ кг} + 0,009 \text{ мг}$ или $1 \text{ кг} + 0,011 \text{ мг}$ или другие значения. Неопределенность измерения можно оценить, применяя статистические методы, приведенные в «Руководстве по выражению неопределенности измерения» (GUM). Полный результат массы копии X показывает: $m = 1,000\ 000\ 01 \text{ кг} \pm 0,002 \text{ мг}$. Значение неопределенности $\pm 0,002 \text{ мг}$ показывает, что измерения, сделанные, при явно идентичных условиях будут давать результат в интервале от $1,000\ 000\ 01 \text{ кг} - 0,002 \text{ мг}$ до $1,000\ 000\ 01 \text{ кг} + 0,002 \text{ мг}$ с определенной вероятностью (обычно 95%). Предполагается, что 95 из 100 измерений будут находиться в данном интервале.

Неопределенность измерения — это основное понятие, связанное с любым измерением. Оно может использоваться для профессионального принятия решений, а также для оценивания свойств во многих областях как теоретических, так и экспериментальных. Так как требования к допускам, применяемым в промышленном производстве, становятся все более строгими, роль неопределенности измерений при оценке соответствия этим допускам возрастает все больше. Неопределенность измерения играет центральную роль в оценке качества и установлении стандартов качества.

Измерения присутствуют практически во всех видах человеческой деятельности, которые включают промышленную, коммерческую, научную деятельность, здравоохранение, безопасность и охрану окружающей среды, но ограничивается не только ими. Измерение помогает принимать решения во всех этих видах деятельности. Неопределенность измерения позволяет тем, кто работает со значением измеряемой величины, проводить сравнения при оценке соответствия, получать вероятность принятия неправильного решения, основанного на измерении, и управлять возникающими рисками. Задача обеспечения международного единства в подходе к представлению и оцениванию погрешностей результата измерений является актуальной. «Погрешность» и «неопределенность» представляют собой различные понятия; их не следует путать друг с другом или неправильно использовать.

В настоящем пособии рассматривается понятие “неопределенность” в применении к описанию результатов измерений, его место в системе понятий и величин (характеристик), применяемых при описании результатов измерений и их погрешностей. Даются примеры расчета неопределенности.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ

Измерение – совокупность операций, имеющих целью определение значения величины.

Результат измерения – значение, приписываемое измеряемой величине, полученное путем измерений.

Погрешность измерения (measurement error) - разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Опорное значение величины (reference quantity value) - значение величины, которое используется как основа для сопоставления со значениями величин того же рода.

Относительная погрешность - отношение абсолютной погрешности к тому значению, которое принимается за истинное. Относительная погрешность является безразмерной величиной либо измеряется в процентах.

Систематическая погрешность измерения (systematic measurement error) - составляющая погрешности измерения, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях.

Случайная погрешность измерения (random measurement error) - составляющая погрешности измерения, которая при повторных измерениях изменяется непредсказуемым образом.

Инструментальные (приборные) погрешности - погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений и вызываются несовершенством принципа действия, неточностью градуировки шкалы, не наглядностью прибора.

Методические погрешности - погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики.

Субъективные (операторные) личные погрешности - погрешности, обусловленные степенью внимательности, сосредоточенности, подготовленности и другими качествами оператора.

Приведенная погрешность - относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.

Прогрессирующая (дрейфовая) погрешность — непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени. Она представляет собой нестационарный случайный процесс.

Грубая погрешность (промах) — погрешность, возникшая вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры (например, если экспериментатор неправильно прочёл номер деления на шкале прибора, если произошло замыкание в электрической цепи).

Неопределенность измерения – параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий рассеяние значений, которые обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Абсолютная неопределенность измерения - неопределенность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная неопределенность результата измерений - отношение абсолютной неопределенности к результату измерений.

Стандартная неопределенность (u): неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО);

Суммарная стандартная неопределенность (u_c): стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин;

Расширенная неопределенность (U): величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Точность измерения – близость результата измерения к истинному значению измеряемой величины.

Поверка средств измерений – установление пригодности средств измерений (СИ) к применению на основании экспериментального определения

метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным требованиям. При поверке используют эталоны.

Термины – примерные аналоги концепции неопределенности и классической теории точности

Таблица 1.

Классическая теория	Концепция неопределенности
Погрешность результата измерения	Неопределенность результата измерения
Случайная погрешность	Неопределенность, оцениваемая по типу А
НСП	Неопределенность, оцениваемая по типу Б
СКО (стандартное отклонение) погрешности результата измерения	Стандартная неопределенность результата измерения
Доверительные границы результата измерения	Расширенная неопределенность результата измерения
Доверительная вероятность	Вероятность охвата (покрытия)
Квантиль (коэффициент) распределения погрешности	Коэффициент охвата (покрытия)

Что такое неопределенность?

Для того, чтобы получить сравнимые результаты из оценок неопределенностей измерения, эксперты из семи международных организаций, занимающихся метрологией или стандартизацией, разработали «Руководство по выражению неопределенности измерения», (GUM). Руководство устанавливает основные правила для оценки и выражения неопределенности в измерении, которая может быть соблюдена на различных уровнях точности и в различных областях применения, от магазина до фундаментальных исследований. Однако, как говорится в Руководстве: «Оценка неопределенности - это ни рутинная, ни чисто математическая задача, она зависит от детальных знаний природы величины (которую необходимо измерить) и самого измерения».

Как известно [4], фундаментальным понятием классической теории измерений является *погрешность* $\delta_i = X_i - \mu$ - отклонение результата измерения X_i от истинного значения измеряемой величины μ (ниже результаты N параллельных измерений обозначаются как $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N$ и называются «выборкой»).

Термин «выборка» взят из математической статистики и означает, что результаты измерений как бы взяты из генеральной совокупности – воображаемого бесконечного множества результатов, которые могли бы быть получены при неизменных условиях.

Погрешность возникает из-за несовершенства процесса измерений. Хотя погрешность не может быть точно известна (из-за неизвестности истинного значения), это понятие удобно использовать для статистического описания процесса измерений. Распределение погрешности δ совпадает с распределением результатов измерений X с точностью до начала координат (см. рис. 1).

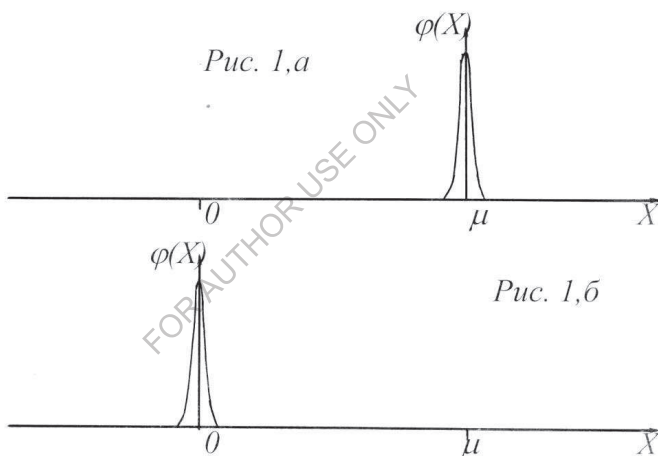
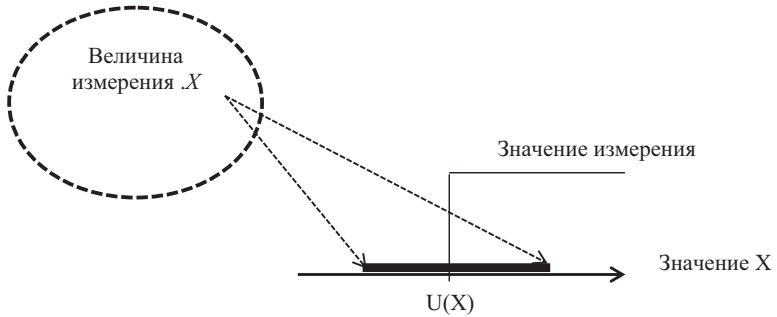


Рис. 1. Распределение измеряемой величины X (1,а) и погрешности измерений $\delta = (X - \mu)$ (1,б). $\varphi(X)$ - плотность распределения.

Рассмотрим теперь, как определяется неопределенность. Согласно [5,6], это «*Параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий разброс значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине. Этим параметром может быть, например, стандартное отклонение (или кратное ему число) или ширина доверительного интервала*».

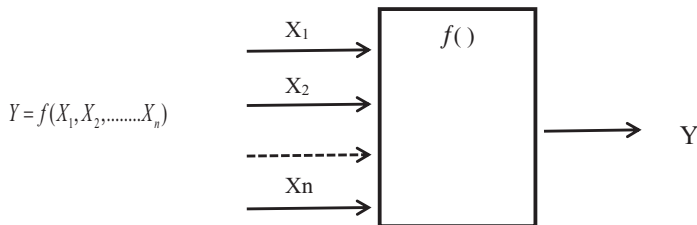
Как выше было отмечено, что неопределенность измерения $u(x)$ -это параметр, который связан с результатом измерений и характеризующим рассеяние значений, которые достаточно обоснованно могут быть приписаны измеряемой величине.



2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Выражаем интересующую нас величину измерения Y . Учитываем по возможности с наибольшей точностью и наибольшим количеством причин X_i , которые влияют на величину измерения Y

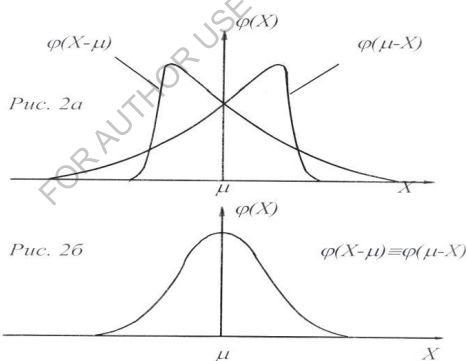
- Измеренные результаты
- Постоянные множители и коэффициенты усиления
- Влияющие величины (температура, нагрузка, ...)



Очевидно, данное определение не является исчерпывающим (что за параметр? как именно связанный?), и ему соответствуют и другие величины, кроме указанных – например, размах выборки $R = (X_{max} - X_{min})$ при

фиксированном числе параллельных измерений. Очевидно, для практического использования приведенное определение недостаточно и нуждается в уточнениях.

В [7] проведен подробный сравнительный анализ понятий «погрешность» и «неопределенность». Автор определяет неопределенность как *«параметр центрированной случайной величины, представляющей собой разность между истинным значением измеряемой величины и результатом измерений, то есть величины, совпадающей по модулю с погрешностью измерений, но противоположной ей по знаку»*. Другими словами, это параметр распределения величины $(\mu - X_i)$. Такое распределение зеркально по отношению к распределению погрешности измерений (рис. 2а) и, следовательно, они совпадают друг с другом при симметричной функции распределения (рис. 2б). Правда, и здесь не сказано однозначно, что именно это за параметр.



Таким образом, фактически исчерпывающего определения неопределенности нет и нам придется работать с величинами, определяемыми в значительной степени посредством примеров - так как приведенных выше определений недостаточно.

Рассматривая подробнее имеющиеся литературные данные можно сказать, что **во всех случаях** в связи с неопределенностью рассматриваются **симметричные распределения результатов измерений** (результаты

измерений рассматриваются как выборка из нормально распределенной генеральной совокупности), а в качестве параметра, упомянутого в определении неопределенности, **всегда** рассматриваются **стандартные отклонения**, характеризующие случайные и скрытые (не выявленные) ошибки измерений, оцененные разными способами (стандартная неопределенность, суммарная стандартная неопределенность), либо кратные им величины (расширенная неопределенность). Фактически предполагается нормальное распределение результатов измерений.

Отсюда очевидно, что между описанием результатов измерений с использованием погрешности и с использованием неопределенности имеется точное соответствие. Как видно, соответствующие друг другу величины, используемые при описании результатов измерений с использованием погрешности и неопределенности, практически совпадают – формулы для их расчета фактически одни и те же (см. таблицу 2).

Таблица 2

Характеристика	Описание результатов измерений с использованием:	
	погрешности	Неопределенности
Результат измерения (точечная оценка)	Среднее значение $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$	Среднее значение $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$
Разброс результатов измерений	Стандартное отклонение результатов измерений* $s_r = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$	Стандартная неопределенность $u(X) = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$
Разброс, характеризующий все виды ошибок вместе	Стандартное отклонение полной (суммарной) погрешности $s_{сумм} = +\sqrt{s_r^2 + \frac{\Delta^2}{3}}$	Суммарная стандартная неопределенность** $u_c(X) = +\sqrt{u^2(X) + u^2(\delta) + \sum_{j=1}^j c_j^2 u^2(z_j)}$

Интервал, в котором лежит измеряемая величина, при единичном измерении	Доверительный интервал $\{\bar{X} \pm ks_{\text{сумм}}\}$	Среднее значение \pm расширенная неопределенность*** $\{\bar{X} \pm U\} = \{\bar{X} \pm ku_c(X)\}$
--	--	---

*Стандартное отклонение погрешности $^S(X-\mu)$ совпадает со стандартным отклонением результатов измерений $^S X$.

**Величина $u^2(\hat{\delta})$, учитывающая неточность аттестации стандартных образцов, равна $\frac{\Delta}{3}$, где Δ - полуширина интервала, в котором лежит принятое опорное значение.

Член $\sum_{j=1}^J c_j^2 u^2(z_j)$, описывающий вклад неопределенности, обусловленной матричными эффектами, в отечественной литературе обычно не рассматривается (полагают, что эти эффекты малы).

*** Коэффициент $k = u(\bar{P})$, где \bar{P} - доверительная вероятность, для расширенной неопределенности выбирают равным 2 или 3 («коэффициент охвата»), что соответствует $\bar{P} \cong 0.954$ и $\bar{P} \cong 0.997$. При расчете доверительных интервалов иногда, хотя и редко, используют и другие значения k .

Вводимая в настоящее время концепция «неопределенности измерения» позволяет не только достаточно легко рассчитывать эту неопределенность измерения, но и сравнивать результаты измерений, проведенных в различных лабораториях.

Стандартная неопределенность, связанная со **случайными эффектами при измерениях**, рассчитывается как СКО среднего значения.

$$u_{\text{ско}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t_s)^2}{N(N-1)}}; \quad (1)$$

где: N – количество измерений; t_i – величина сигнала датчика при i -ом измерении; t_s – средняя величина сигнала;

$$t_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i.$$

Это может быть сопротивление для ТС, ТЭДС для ТП, ток для датчика с нормирующим преобразователем или значение температуры в случае, если прибор сам переводит сигнал от первичного датчика в температуру.

Количество измерений для проведения правильной статистической обработки должно быть не менее тридцати [3].

Расчет суммарной неопределенности измерения проводится по формуле

$$u_{\text{sum}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u^i)^2} \quad (2)$$

В настоящее время продолжает действовать ГОСТ 8.207-76. «Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения», позволяющий рассчитать погрешность результата измерения на основе определения систематических и случайных погрешностей и объединения их по определенным математическим законам, однако в нем нет практических рекомендаций, а предлагаемые методики расчета затруднительны для использования.

Вводимая в настоящее время концепция «неопределенности измерения» позволяет не только достаточно легко рассчитывать эту самую неопределенность измерения, но и сравнивать результаты измерений, проведенных в различных лабораториях. Важной особенностью концепции «неопределенность измерения» является то, что составляющие неопределенности классифицируются не по природе их возникновения (как систематическая и случайная погрешность), **а по методу их определения**. Составляющие, определенные путем статистической обработки многократных измерений относятся к типу **A**, составляющие, определенные другими методами – к типу **B**.

Неопределенность результата измерения отражает отсутствие точного знания значения измеряемой величины. Оно даже после внесения поправки на известные систематические погрешности все еще является только *оценкой*

измеряемой величины вследствие неопределенности, возникающей из-за случайных эффектов и неточной поправки результата на систематические погрешности. Все составляющие бюджета (перечня) неопределенностей называются «**стандартные неопределенности**», подчеркивая тем самым, что они выражены в терминах СКО соответствующих распределений и что **при расчете суммарной неопределенности различие в методах (типах) их определения стирается и все составляющие имеют при сложении один статус.**

3. ВВЕДЕНИЕ ПОНЯТИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ВЕЛИЧИНЫ СВЯЗАННЫЕ С НИМ

Основные причины, по которым вводится понятие «неопределенность», следующие.

1. Отсчет доверительного интервала в отсутствие систематических погрешностей ведется от \bar{X} - среднего значения результатов измерений X_i . Вообще говоря, при использовании понятия «погрешность» отсчет должен был бы вестись от математического ожидания μ ¹, а величину \bar{X} используют не от хорошей жизни – истинное значение неизвестно, а \bar{X} есть наилучшая оценка для μ [8]. Использование понятия «неопределенность» с этой точки зрения более логично - в определениях всех рассчитываемых параметров фигурируют только наблюдаемые величины.

2. Способы оценки интервала, в котором лежит истинная величина, более разнообразны и детально прописаны в [6] и других документах, использующих понятие «неопределенность»². В частности, учитываются реально имеющие место, но зачастую игнорируемые в отечественных нормативных документах скрытые, или не выявленные, систематические ошибки.

¹ В отсутствие систематических ошибок истинное значение совпадает с математическим ожиданием генеральной совокупности.

² Конечно, такие же формулы справедливы и при использовании понятия «погрешность».

3. Использование «неопределённости» позволяет наглядно решать вопрос о соответствии (несоответствии) измеренной характеристики качества установленным нормам. Если значение нормы не перекрывается расширенной неопределённостью результата измерения, то, основываясь на этом результате можно делать надёжное заключение о соответствии (несоответствии) объекта испытания этой норме. Правда, то же относится к корректно рассчитанному доверительному интервалу.

4. Понятие «погрешность» исходно не являлось на Западе настолько же привычным, как в России. Поставленные перед необходимостью оценивать интервал, в котором лежит истинное значение, зарубежные специалисты в качестве основы взяли «неопределенность» - у них был выбор.

В 1993 г. под эгидой Международного комитета мер и весов (МКМВ), Международной электротехнической комиссии (МЭК), Международной организации по стандартизации (ИСО), Международной организации по законодательной метрологии (МОЗМ), Международного союза по чистой и прикладной физике, Международного союза по чистой и прикладной химии и Международной федерации клинической химии разработано "Руководство по выражению неопределенности измерения" (далее - Руководство) [19, 9].

Целями Руководства являются:

- обеспечение полной информации о том, как составлять отчеты о неопределенностях измерений;
- предоставление основы для международного сопоставления результатов измерений;
- предоставление универсального метода для выражения и оценивания неопределенности измерений, применимого ко всем видам измерений и всем типам данных, которые используются при измерениях.

Водятся две оценки неопределенности:

- **оценка по типу A** – метод оценивания неопределенности путем статистического анализа рядов наблюдений;

- **оценка по типу В** – метод оценивания *иным способом*, чем статистический анализ рядов наблюдений.

Целью классификации на **тип А** и **тип В** является показ двух различных *способов* оценки составляющих неопределенности.

Стандартную неопределенность **типа А** получают из *функции плотности вероятности*, полученной из наблюдаемого распределения по частности.

Стандартную неопределенность **типа В** получают из *предполагаемой функции плотности вероятностей*, основанной на уверенности в том, что событие произойдет. Эта вероятность часто называется *субъективной вероятностью*.

4. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

Руководство по оцениванию неопределенности в измерении – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. (Принят Международной Организацией по Стандартизации, Женева, 1993).

РМГ 43-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

Настоящие Рекомендации распространяются на методы оценивания точности результатов измерений, содержат практические рекомендации по применению Руководства и показывают соответствие между формами представления результатов измерений, принятыми в основополагающих нормативных документах (НД) по метрологии, применяемых в странах - участниках Соглашения, и формой, принятой в Руководстве.

ЕА - 4/02 Выражение неопределенности измерения при калибровке (Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration).

Новые документы, разработанные JCGM (WG1) по неопределенности измерений. Рабочая группа WG1, созданная МБМВ на базе комитета JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology), отвечающего за разработку основных

руководств в метрологии, выпустила ряд дополнительных документов по неопределенности измерений.

JCGM 100:2008 Как уже отмечалось, документ представляет собой новую редакцию GUM, но по сути содержит лишь несколько изменений в отдельных пунктах, касающихся терминологии. Очень важно, однако, что документ опубликован в свободном доступе в сети Internet.

JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” — Propagation of distributions using a Monte Carlo method (Оценивание данных измерения – Приложение 1 к GUM- распространение распределений с использованием метода Монте Карло).

JCGM 104:2009. Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents (Оценивание данных измерения – Введение к "Руководству по выражению неопределенности измерений" и связанным с ним документам).

5. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

5.1. Порядок расчета неопределенности измерения

Порядок расчета неопределенности измерения сводится к следующим этапам:

1. Составление модели неопределенности (математическое моделирование процесса измерения).

2. Определение оценок $x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m$ входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$, внесение поправок на известные систематические эффекты, возникающие в процессе измерения.

3. Определение оценки y результата расчета измерения выходной величины Y .

4. Определение стандартных неопределенностей $u(x_j)$ входных величин

$X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$.

5. Определение коэффициентов чувствительности c_j .
6. Вычисление вклада стандартной неопределенности $u_j(y)$ каждой входной величины X_j в суммарную стандартную **неопределенность** $u(y)$ выходной величины Y .
7. Вычисление по парной корреляции оценок x_j и x_k входных величин X_j и X_k .
8. Вычисление суммарной стандартной неопределенности $u(y)$ выходной величины Y .
9. Вычисление коэффициента охвата k .
10. Вычисление расширенной неопределенности U .
11. Запись полного результата измерения выходной величины Y .

5.2. Поэтапный расчет неопределенности измерения

1. Модель выражает зависимость между входными величинами и выходной.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m) \quad (3)$$

где: Y – выходная величина, $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ – входные величины: 1-я, 2-я, ... (m-1)-я и m-я соответственно,

f – некая функциональная зависимость, между выходной величиной Y и входными величинами $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$.

В качестве входных величин в модель, кроме измеряемых величин, входят переменные, численные значения и неопределенности которых известны из внешних источников, а также поправки к результату измерений на известные систематические эффекты, основные и дополнительные погрешности примененных СИТ и т.д.

Модель не применяется в случае прямых измерений! Иными словами, это есть ни что иное, как новая интерпретация старого доброго уравнения косвенных измерений.

Прямые измерения – это измерения, при которых искомое значение физической величины получают непосредственно из опыта.

Косвенные измерения – это измерения, при которых искомую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, т.е. измеряют не собственно определяемую величину, а другие, функционально с ней связанные.

2. Определение оценок $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ входных величин

$X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ представляет собой нахождение их численных значений либо путем однократных (многократных) измерений, либо с использованием иных источников.

При многократных измерениях под численным значением j -й входной величины X_j понимают среднее арифметическое значение:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} X_{ji} \quad (4)$$

где: n_j – количество единичных наблюдений j -й входной величины X_j ,

i – порядковый номер единичного наблюдения j -й входной величины X_j ,

x_{ji} – численное значение (результат) i -го единичного наблюдения j -й входной величины X_j .

При этом i принимает значения от **1** до **n** , а j – от **1** до **m** .

В полученные значения вносятся поправки на известные систематические эффекты. Эти же поправки вносятся и в модель в качестве входных величин, поэтому они сами по себе являются источниками неопределенности.

3. Оценку результата измерения получаем подстановкой в модель соответствующих оценок входных величин, но только после внесения поправок на все известные источники неопределенности, имеющие систематические характер:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m) \quad (5)$$

где: y – оценка результата измерения,

$X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ – оценки входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ соответственно.

4. Стандартные неопределенности $u(x_j)$ входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ определяют, как уже говорилось выше, либо с помощью статистических методов (стандартная неопределенность типа А), либо иными методами (стандартная неопределенность типа В).

Стандартная неопределенность типа А $U_A(x_j)$ j -й входной величины X_j выражается в виде СКО от среднеарифметического значения j -й входной величины X_j , вычисленной по формуле:

$$U_A(X_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (X_{ji} - \bar{X}_j)^2}{n_j(n_j - 1)}} \quad (6)$$

где: n_j – количество единичных наблюдений j -й входной величины X_j ,

i – порядковый номер единичного наблюдения j -й входной величины X_j ,

X_{ji} – численное значение (результат) i -го единичного наблюдения j -й входной величины X_j .

Стандартная неопределенность типа В $u_B(x_j)$ j -й входной величины X_j , в случае, когда она является не исключенной систематической погрешностью, вычисляется по формуле:

$$u_B(X_j) = \frac{\theta_j}{\alpha_j} \quad (7)$$

где: θ_j – границы не исключенной систематической погрешности j -й входной величины X_j ,

α_j – коэффициент, соответствующий принятому для данной j -й входной величины X_j закону распределения (нормального, равномерного, треугольного) внутри границ $\pm\theta_j$.

Для равномерного распределения $\alpha_j = \sqrt{3}$, а для нормального $\alpha_j = 2$ (при вероятности 0,95).

Стандартная неопределенность типа В, как уже говорилось, зависит от закона распределения. При условии неполноты сведений о возможных значениях j -й входной величины X_j , чаще всего допускают, что они распределяются по равномерному (прямоугольному) закону в заданных границах относительно оценки x_j этой самой величины X_j . При этом стандартная неопределенность типа В представляет собой оценку СКО.

5. Коэффициент чувствительности (sensitivity coefficient) c_j показывает, насколько оценка у выходной величины Y изменяется при изменении оценки x_j j -й входной величины X_j .

При прямых измерениях все коэффициенты чувствительности равны 1.

6. Вклад стандартной неопределенности (uncertainty component of the standard uncertainty) $u_j(y)$ j -й входной величины X_j в суммарную стандартную неопределенность $u(y)$ измеряемой величины Y определяют по формуле:

$$u_j(y) = C_j \cdot u(X_j) \tag{8}$$

где: c_j – коэффициент чувствительности j -й входной величины X_j ,

$u(x_j)$ – стандартная неопределенность j -й входной величины X_j .

7. Попарная корреляция (или статистическая зависимость) оценок $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ соответствующих входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ выражается с помощью коэффициентов корреляции.

Коэффициент корреляции r_{jk} оценок x_j и x_k j -й и k -й входных величин X_j и X_k соответственно выражает их статистическую зависимость, является безразмерной величиной и находится в пределах от -1 до 1 включительно. При $r_{jk} = 0$ корреляция отсутствует. При зависимости обеих оценок x_j и x_k входных величин X_j и X_k только от одной переменной коэффициент корреляции $r_{jk} = 1$ или $r_{jk} = -1$.

Корреляция присутствует либо при одновременном наблюдении j -й и k -й входных величин X_j и X_k в одном и том же процессе измерения, либо при

зависимости обеих входных величин X_j и X_k от одних и тех же независимых между собой переменных.

8. Суммарная стандартная неопределенность $u(y)$ (неопределенность измерений) измеряемой величины Y , в случае отсутствия корреляции между оценками $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ определяется по формуле:

$$U(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_j^2(y) = C_1^2 u^2(X_1) + C_2^2 u^2(X_2) + \dots + C_m^2 u^2(X_m)} \quad (9)$$

где: $u_j(y)$ – вклад стандартной неопределенности j -й входной величины X_j в суммарную стандартную неопределенность $u(y)$ выходной величины Y ,

$u(x_j)$ – стандартная неопределенность j -й входной величины X_j ,

m – количество оценок $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$,

C_j – коэффициент чувствительности j -й входной величины X_j ,

j – порядковый номер вклада стандартной неопределенности j -й входной величины X_j .

При наличии корреляции между оценками x_j и x_k соответствующих входных величинам X_j и X_k суммарная стандартная неопределенность $U(y)$ выходной величины Y определяется по формуле:

$$U(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_j^2(y) + 2 \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m Y_{jk} C_j u(X_j) C_k u(X_k)} \quad (10)$$

где: $u_j(y)$ – вклад стандартной неопределенности j -й входной величины X_j в суммарную стандартную неопределенность $u(y)$ выходной величины Y ,

$u(x_j)$ – стандартная неопределенность j -й входной величины X_j ,

$u(x_k)$ – стандартная неопределенность k -й входной величины X_k ,

m – количество оценок $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$,

r_{jk} – коэффициент корреляции оценок x_j и x_k j -й и k -й входных величин X_j и X_k ,

c_j – коэффициент чувствительности j -й входной величины X_j ,

c_k – коэффициент чувствительности k -й входной величины X_k ,
 j – порядковый номер расчетных характеристик j -й входной величины X_j ,
 k – порядковый номер расчетных характеристик k -й входной величины X_k .

Например, суммарная стандартная неопределенность $u(y)$ для двух коррелированных оценок x_1 и x_2 входных величин X_1 и X_2 соответственно определяется по следующей формуле:

$$U(y) = \sqrt{u_1^2 + 2Y_{1,2}u_1(y)u_2(y) + u_2^2(y)} \quad (11)$$

Где: $u(x_1)$ – стандартная неопределенность 1-й входной величины X_1 ,
 $u(x_2)$ – стандартная неопределенность 2-й входной величины X_2 ,
 $r_{1,2}$ – коэффициент корреляции оценок x_1 и x_2 входных величин X_1 и X_2 .

Если коэффициент корреляции $r_{1,2}$ равен 1, то суммарная стандартная неопределенность $u(y)$ выходной величины Y для двух оценок x_1 и x_2 коррелированных входных величин X_1 и X_2 определяется по формуле:

$$U(y) = |u_1(y) + u_2(y)| = |C_1u(X_1) + C_2u(X_2)| \quad (12)$$

Где: c_1 – коэффициент чувствительности 1-й входной величины X_1 ,
 C_2 – коэффициент чувствительности 2-й входной величины X_2 .

А если коэффициент корреляции $r_{1,2}$ равен -1 , то суммарная стандартная неопределенность $u(y)$ выходной величины Y для двух оценок x_1 и x_2 коррелированных входных величин X_1 и X_2 определяется по формуле:

$$U(y) = |u_1(y) - u_2(y)| = |C_1u(X_1) - C_2u(X_2)| \quad (13)$$

9. Коэффициент охвата (coverage factor) k – представляет собой множитель, на который умножают стандартную суммарную неопределенность $u(y)$ измеряемой величины Y с целью получения расширенной неопределенности измерения U .

Часто на практике для упрощения вычисления неопределенности результатов измерений делают предположение о нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины Y и полагают, что

$k=2$ при $p=0,95$ или $k=3$ при $p=0,99$. Если же предполагают равномерность закона распределения, то $k=1,65$ при $p=0,95$ или $k=1,71$ при $p=0,99$.

В общем виде коэффициент охвата k вычисляется исходя из законов распределения входных величин $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ и с учетом чисел степеней свободы V_j для каждой j -й входной величины X_j .

При проведении многократных измерений и оценке стандартной неопределенности типа А число степеней свободы вычисляется по формуле:

$$V_j = n_j - 1 \quad (14)$$

Где: n_j – количество единичных наблюдений j -й входной величины X_j .

При оценке стандартной неопределенности типа В число степеней свободы равно бесконечности.

10. Расширенную неопределенность измерения (expanded uncertainty) U_p получают путем умножения суммарной стандартной неопределенности $u(y)$ измеряемой величины Y на коэффициент охвата k :

$$U_p = K \cdot u(y) \quad (15)$$

11. Полный результат измерения должен содержать в себе оценку значения y выходной величины Y и значение расширенной неопределенности измерения U с указанием доли (coverage probability) p ожидаемых значений, которые могли бы быть обосновано ей (выходной величине) приписаны:

$$Y = y \pm U, p = 0,95 \quad (16)$$

Данная запись буквально означает следующее: большая доля (95%) ожидаемых значений, которые могли бы быть обосновано, приписаны к измеренной нами величине Y , находятся в интервале от $(y - U)$ до $(y + U)$.

При этом надо иметь в виду, что нахождение измеренной величины Y внутри интервала имеет некую вероятность, меньшую единицы, и,

следовательно, попадание Y вне заданного интервала не исключено, хотя и маловероятно.

Та же самая запись (16) по «старорежимному» читалась бы так: интервал от $(y - U)$ до $(y + U)$ с вероятностью 95% содержит истинное значение измеренной нами величины Y .

Однако так делать нельзя, поскольку даже при совпадении численных значений суммарной погрешности измерения и расширенной неопределенности того же самого измерения, их смысл различен по определению.

Составление бюджета неопределенности это всегда процесс творческий. Количество компонентов – источников неопределенности – может быть разное, в зависимости, прежде всего, от необходимого уровня точности измерения. Обычно для рабочих средств измерения в бюджет включают значительно меньше компонентов, чем в случае прецизионных средств измерений.

Следует иметь в виду, что составляющие бюджета имеют весьма разный вес и суммарная неопределенность рассчитывается путем сложения квадратов их величин. Отсюда следует, что, если одна из составляющих бюджета в 3 и более раз меньше другой, то её можно не учитывать.

Далее приведены основные источники неопределенности измерения, которые являются определяющими при измерении температуры в производственных процессах и при проведении поверки и градуировки датчиков температуры.

6. ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Датчик температуры ТП или ТС

Таблица 3

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Датчик индивидуальной градуировкой.	Тип В. Нормальное распределение. В паспорте указана расширенная неопределенность градуировки U_{TP}	$u_1 = U_{TP}/2$
Датчик без индивидуальной градуировки.	Тип В. Нормальное распределение. В паспорте указан класс датчика и его погрешность Δ_d	$u_1 = \Delta_d /3$

Источником неопределенности является наличие отклонения индивидуальной характеристики конкретного датчика от НСХ. При проведении индивидуальной градуировки датчика путем введения поправки мы повышаем точность измерения в 3 – 5 раз, однако не исключаем погрешность полностью.

Для примера – погрешность ТП ХА 1 кл. при 1000 °С - ± 4 °С,
ТП ХА 2 кл. при 1000 °С - ± 7.5 °С
инд. градуировка ТП ХА при 1000 °С - ± 1.5 °С

2. Нормирующий преобразователь напряжение – ток или сопротивление

Таблица 4

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Преобразователь	Тип В. Нормальное распределение. В паспорте указана погрешность прибора $\Delta_{пр}$	$u_{пр1} = \Delta_{пр}/3$

Источником неопределенности является погрешность преобразования сигнала от первичного датчика (ТЭДС ТП или сопротивление ТС) и линейность этого преобразования в постоянный ток. Как правило, для преобразователя указывается класс прибора, т.е. погрешность в виде процента от верхнего предела.

3. Компенсатор температуры холодного спая для измерительных приборов и нормирующих преобразователей напряжение – ток.

Таблица 5

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Компенсатор температуры холодного спая.	Тип В. Равномерное распределение. В паспорте указана погрешность прибора $\Delta_{пр}$	$u_{пр1} = \Delta_{пр} / \sqrt{3}$

Причина возникновения источника неопределенности – различие индивидуальных характеристик термопары и компенсатора холодного спая при температуре холодного спая.

Компенсатор температуры холодного спая представляет собой, как правило, термометр сопротивления. Схема измерения сопротивления этого ТС настроена таким образом, что выдает во внешнюю схему сигнал постоянного напряжения, соответствующий величине ТЭДС термопары соответствующей градуировки при данной температуре холодного спая. Этот дополнительный сигнал суммируется с сигналом от термопары и далее схема обрабатывает уже суммарный сигнал. Неопределенность возникает в силу того, что компенсатор вырабатывает сигнал, соответствующий градуировке термопары по НСХ, а индивидуальная характеристика термопары может существенно отличаться от НСХ.

Например:

Температура компенсатора холодного спая термопары и, соответственно, самого холодного спая термопары – 30 °С. Сигнал от компенсатора холодного спая в температурном эквиваленте - 30 °С. (погрешность самого компенсатора в данном случае не рассматривается).

Индивидуальная характеристика термопары может иметь отклонение от НСХ при 100°С по ГОСТ 6616 ± 2.5 °С, что составит, при линейной интерполяции на температуру холодного спая, ± 0.75 °С при 30°С.

Таким образом, фактический сигнал от термопары составит в температурном эквиваленте 30 ± 0.75 °С.

Разница в ± 0.75 °С дальнейшей схемой никак не обрабатывается и увеличивает суммарную неопределенность.

5. Удлинительные (компенсационные) провода для термопар.

Таблица 6

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Удлинительные (компенсационные) провода	Тип В. Равномерное распределение. $\Delta_{удл}$	$u_{удл} = \Delta_{удл} / \sqrt{3}$

Причина возникновения источника неопределенности – различие индивидуальных характеристик термопары и удлинительного (компенсационного) провода при температуре перехода.

Например:

Удлинительный провод и термопара при температуре 100°С могут вырабатывать ТЭДС, отличающуюся по величине в температурном эквиваленте на 0 ± 2.5 °С. (ГОСТ 6616, ГОСТ 1790, ГОСТ 1791).

При линейной интерполяции на температуру 30°С эта разница составляет 0 ± 0.75 °С, дальнейшей схемой никак не обрабатывается и увеличивает суммарную неопределенность.

Примечание. 1. При работе с термопарой типа 01.хх, т.е. с термопарой с клеммной головкой, $\Delta_{удл}$ может составить 0 ± 2.5 °С и более, т.к. температура 100°С и более на клеммной головке обычное явление.

Все вышесказанное относится также к переходу от одного удлинительного провода к другому, например, при удлинении проводов термопары 02.01.

6. Измерительный прибор.

Таблица 7

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Электроизмерительная установка	Тип В. Нормальное распределение. $\Delta_{пр}$	$u_{пр2} = \Delta_{пр} / 3$

$\Delta_{пр}$ – погрешность измерительного прибора, указанная в паспорте.

7. Разрешающая способность измерительного прибора.

Таблица 8

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Электроизмерительная установка	Тип В. равномерное распределение. a_{pc}	$u_{pc} = a_{pc} / \sqrt{3}$

Разрешающая способность измерительного прибора – это единица младшего разряда индикатора цифрового прибора или 0.2 деления шкалы стрелочного прибора.

Обращаю ваше внимание, что при записи показаний во внутреннюю память прибора фиксируются обычно 5-6 знаков после запятой, т.е. например, при величине сигнала по индикатору 5.0000 мВ и при погрешности прибора, допустим 2 мкВ, в памяти записывается 5.000012 мВ. Разрешающая способность прибора в данном случае равна 0.1 мкВ и никак не менее.

При работе со стрелочным прибором или при записи показаний на диаграммную ленту разрешающую способность следует брать не менее 0.2 ... 0.3 цены деления шкалы прибора.

8. Случайные эффекты при измерении.

Таблица 9

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Случайные эффекты при измерении.	Тип А. Нормальное распределение. $СКО_{cp}$	$u_{CKO} = СКО_{cp}$

Стандартная неопределенность, связанная со **случайными эффектами при измерениях**, рассчитывается как СКО среднего значения.

$$u_{CKO} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t_s)^2}{N(N-1)}} \quad (17)$$

где: N – количество измерений.

t_i – величина сигнала датчика в i -ом измерении. Это может быть сопротивление для ТС, ТЭДС для ТП, ток для датчика с нормирующим преобразователем или значение температуры в случае, если прибор сам переводит сигнал от первичного датчика в температуру.

t_s – средняя величина сигнала

$$t_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

Количество измерений для проведения правильной статистической обработки должно быть не менее 30. В случае проведения измерений **цифровым** прибором или **многоканальным** аналоговым самопишущим прибором в качестве группы для обработки берется необходимое количество **последовательных** отсчетов из памяти прибора или с ленты самописца.

В случае проведения измерений **одноканальным** аналоговым прибором задача усложняется. В этом случае необходимо принять меры, чтобы после каждого измерения стрелка измерительного прибора уходила со своего места то вправо, то влево.

Только в этом случае можно отследить влияние люфта стрелки, чувствительности схемы и т.д. В противном случае СКО среднего получится для стационарного процесса равным «0».

9. Неопределенность заделки рабочих спаяв.

Таблица 10

Источник неопределенности	Тип неопределенности	Метод расчета
Методика заделки рабочего спая в термометрируемый объект.	Тип В. Равномерное распределение. $\Delta_{\text{спая}}$	$u_{\text{спая}} = \Delta_{\text{спая}} / \sqrt{3}$

Неопределенность от методики заделки рабочего спая является наиболее сложной для определения.

Известно, что термомпара правильно отслеживает температуру термометрируемой среды, если, как минимум, 10 её диаметров, начиная от рабочего спая, находятся в **изотермических** условиях.

Такое же условие существует и для термометров сопротивления – глубина погружения датчика в термометрируемую **изотермическую** среду должна быть более 10 диаметров датчика + длина чувствительного элемента.

При выполнении этих условий можно считать, что $\Delta_{\text{спая}} = 0$.

При невыполнении этих условий необходимо проведение дополнительных исследований по определению величины погрешности от метода заделки рабочего спая.

В [9] технической документации на преобразователи производства ПК «ТЕСЕЙ» минимальная глубина погружения указана.

10. Дополнительные источники неопределенности при поверке и градуировке датчиков.

Подробно об источниках неопределенностей при поверке и градуировке датчиков будет говориться в отдельных сообщениях, здесь приводится только их перечень.

- Погрешность (неопределенность) эталонного датчика температуры;
- погрешность и разрешающая способность электроизмерительной; установки, измеряющей сигнал от эталонного датчика температуры;
- неопределенность вертикального распределения температуры в рабочей зоне термостата;
- неопределенность горизонтального распределения температуры в рабочей зоне термостата;
- неопределенность температуры в нуль-термостате;
- неопределенность температуры в паровом термостате.

В рассмотренном выше перечне источников неопределенности рассмотрены, естественно, не все возможные варианты. Представлены только те, которые используются в сегодняшней практике ПК «ТЕСЕЙ» [9]

При определении бюджета неопределенностей для данной конкретной измерительной схемы из существующего перечня выбираются соответствующие пункты, схема анализируется на наличие дополнительных источников неопределенности и проводится расчет на основании экспериментальных и паспортных данных.

РАСЧЕТ суммарной неопределенности измерения проводится по формуле

$$u_{\text{изм}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u_i)^2} \quad (18)$$

Все составляющие бюджета перед суммированием должны быть приведены к одной размерности с использованием дифференциальной чувствительности датчика при данной температуре.

Расширенная неопределенность $u_{\text{расш}} = 2 * u_{\text{изм}}$

7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

Оценка неопределенности измерений более подробно описано в [10]. Испытательные лаборатории должны применять Руководство [6,19], в котором весьма подробно и с множеством примеров разъяснены способы оценки неопределенности. Однако с момента выхода в свет это Руководство вызывало множество вопросов по поводу его применения в практических лабораториях, выполняющих рутинные исследования. Дело в том, что согласно ему неопределенность рассчитывается как сумма неопределенностей всех этапов выполнения измерения. Такой подход, будучи едва ли не единственно возможным при оценке неопределенности эталонов высших разрядов, малоприменим для рутинных измерений, для которых обычно метрологические характеристики оцениваются в ходе аттестации методики [11, 12]. Это и было признано в [15]. Другими словами, поскольку мы очень часто не знаем всех

основных источников неопределенности, рассчитать указанным в [6] способом общую неопределенность для сколь либо сложных измерений не удастся. В качестве альтернативы в [13] предлагается алгоритм, представленный на рис. 3.

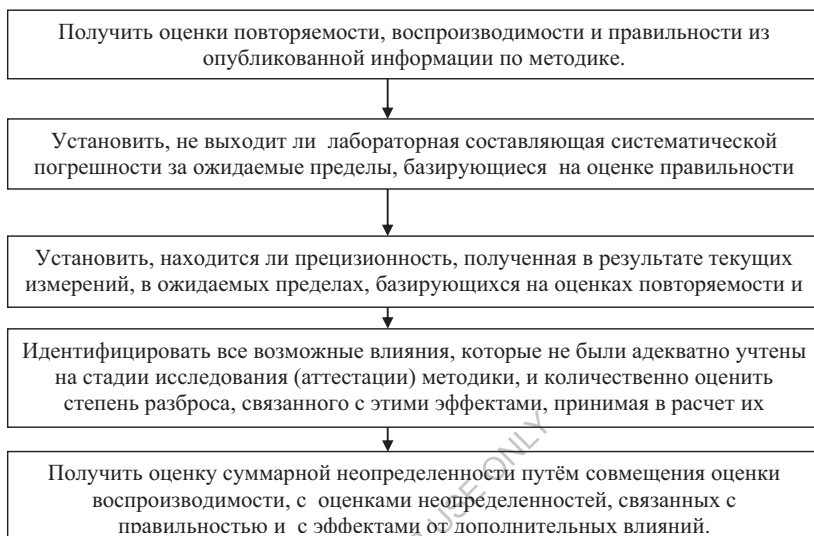


Рис.3.

Ниже даны примеры расчета неопределенности и корректного представления результатов измерений, соответствующие рекомендациям [11, 14] и приближенные к реальной практике.

Пример-1

Лаборатория проводит определение pH молока по ГОСТ 26781-85 [15]. В тексте стандарта указано, что «предел возможных значений погрешности измерений = $\pm 0,04$ pH для принятой вероятности $P=0,95$ ». Как следует из вышесказанного, эта величина и есть неопределённость. Никаких дополнительных исследований и оценок проводить не требуется.

Предположим, измеренное значение $pH=6.94$. Тогда результат может быть записан либо как 6.94 , либо как 6.94 ± 0.04 .

Пример-2

Лаборатория проводит определение кинематической вязкости мазута по ГОСТ 33-2000 [16]. В тексте стандарта указано, что «воспроизводимость» для мазутов составляет 7,4%. Нет оснований считать, что в процессе межлабораторного эксперимента не были учтены какие-либо дополнительные источники неопределенности, поэтому для расчёта неопределённости результатов достаточно использовать только сведения о воспроизводимости.

При ознакомлении с п. 14.3, стандарта становится ясно, что в нем приведены сведения о пределе воспроизводимости (R). Для перехода от предела воспроизводимости к соответствующему стандартному отклонению можно воспользоваться известным соотношением [14]:

$$R = 2.77\sigma_R \approx 2.8\sigma_R \quad (19)$$

Получаем: Относительное стандартное отклонение воспроизводимости (оно же – относительная стандартная неопределённость)

$$\sigma_R = \frac{7.4\%}{2.8} \approx 2.64\% \quad (20)$$

Соответственно расширенная неопределённость при коэффициенте охвата равном 2

$$U = 2.64 \times 2 = 5.28\% \quad (21)$$

или

$$U = 0.0528X. \quad (22)$$

При представлении результата допускается использование, как стандартной неопределённости, так и расширенной неопределённости. В первом случае результат определения кинематической вязкости при найденном значении 263 мм²/с может быть выражен следующим образом:

Кинематическая вязкость: 263 мм²/с, при стандартной неопределённости 7 мм²/с (одно стандартное отклонение)

Во втором случае:

Кинематическая вязкость 263±14 мм²/с (при коэффициенте охвата 2)

Предпочтительным – более наглядным – является второй вариант.

Пример-3

Лаборатория проводит определение объемной доли бензола в бензине для широкого круга заказчиков по методике ГОСТ Р 51930 [17]. В тексте методики отсутствуют сведения о неопределённости результатов, но имеются некоторые исходные данные, по которым можно провести её оценку:

- окончательно приводимый результат есть результат единичного измерения;
- диапазон определения объёмной доли бензола от 0.1 до 5.0%;
- предел повторяемости (максимально допустимое расхождение между двумя параллельными определениями, полученными в условиях повторяемости) $r=0.08\%$;
- предел воспроизводимости (максимально допустимое расхождение между результатами, полученными в двух лабораториях) $R=0.18\%$;
- «тяжёлые ароматические соединения» оказывают мешающие воздействия на результат определения бензола;
- требуются специальные меры, чтобы обеспечить стабильность образца в процессе хранения и анализа;
- правильность результатов в межлабораторном эксперименте не оценивалась.

Сведения о пределах повторяемости и воспроизводимости приведены в абсолютных величинах. Для вычисления неопределённости необходимо перейти от пределов повторяемости и воспроизводимости к соответствующим стандартным отклонениям. Это легко сделать, пользуясь известными соотношениями [12]:

$$R = 2.77\sigma_R \approx 2.8\sigma_R; \quad r = 2.77\sigma_r \approx 2.8\sigma_r \quad (23)$$

Получаем:

$$\text{стандартное отклонение повторяемости } \sigma_r = \frac{0.08\%}{2.8} \approx 0.029\%;$$

$$\text{стандартное отклонение воспроизводимости } \sigma_R = \frac{0.18\%}{2.8} \approx 0.064\%$$

Казалось бы, поставленная задача решена (как это было сделано в предыдущем примере). Если бы воспроизводимость охватывала бы все возможные источники неопределённости, то её значение являлось бы собственно неопределённостью и можно было бы сразу переходить к вычислению расширенной неопределённости U .

Тогда мы бы получили следующие значения неопределённости в крайних точках диапазона определяемой величины:

Таблица 11

Содержание бензола	$u = \sigma_R$	$U = 2u$	Запись результата
0.1%	0.064	0.128	0.1 ± 0.1
5.0%	0.064	0.128	5.0 ± 0.1

Заметим здесь, что если бы при этом лаборатория рассчитывала результат как среднее из двух параллельных определений ($n=2$), то неопределённость была бы немного ниже:

Таблица 12

Содержание бензола	$u = \sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_r^2 (1 - 1/n)}$	$U = 2u$	Запись результата
0.1%	0.061	0.122	0.1 ± 0.1
5.0%	0.061	0.122	5.0 ± 0.1

Однако это снижение пренебрежимо мало и не оказывает влияния на конечный результат. Это иллюстрация того, что в данном случае (как и в большинстве других) увеличение числа параллельных определений не приводит к сколько-нибудь заметному снижению неопределённости, а параллельные определения проводятся для уменьшения вероятности грубых промахов.

Как быть с данными о наличии мешающих влияний? Согласно методике их можно частично скомпенсировать внесением поправки, если иметь в своём распоряжении смесь углеводородов идентичную анализируемой пробе, но без бензола. Однако это невозможно, если лаборатория исследует пробы различного (и, как правило, неизвестного) состава.

Заметим, что в данном случае при межлабораторном эксперименте, проводимом в ходе аттестации методики, влияние вариации матрицы пробы на результаты измерений не учитывалось. Это связано с тем, что в таком эксперименте разные лаборатории исследуют специально подготовленные однородные пробы одного состава. Ясно, что влияние матрицы пробы на неопределённость результатов должно быть оценено лабораторией самостоятельно. В основе такой оценки должны лежать знания специалиста об объекте исследования (такие, как возможная вариация состава исследуемых в лаборатории проб, литературные данные о влиянии матрицы и т.д.).

Поскольку наш пример не привязан к конкретной ситуации, точной оценки влияния матрицы мы дать не можем. Предположим, тем не менее, что проведённая оценка дала значение 0,1 от найденной концентрации.

Второе «но» касается нестабильности пробы, которая также не вносила свой вклад в оценку воспроизводимости³. В реальной работе лаборатории отбор и хранение пробы из объекта до поступления её в лабораторию будет вносить дополнительную неопределённость. Оценим ее как 0,02 от найденной концентрации.

Для введения найденных оценок дополнительной неопределённости в расчет пользуются следующим приемом. В уравнение измерения вводят дополнительные коэффициенты (множители или слагаемые) значение которых не изменяет результата измерения (для множителя «1», для слагаемого «0»). Но каждый дополнительный коэффициент имеет собственную неопределённость, которая было оценена ранее. Тем самым появляется возможность рассчитать суммарную неопределённость.

Основываясь на принятых допущениях можно получить следующие значения неопределенности результатов анализа.

³ Межлабораторный эксперимент для оценки воспроизводимости согласно [14] проводится на специальном образце подготовленных проб, стабильность которых обеспечивается организаторами эксперимента.

Таблица 13

Содержание бензола	u_R	$u_{матр.}$	$u_{проб.}$	$u_{сумм.}$	$U = 2u_{сумм}$	Запись результата
0.1%	0.064	0.01	0.002	0.065	0.130	0.1 ± 0.1
5.0%	0.064	0.5	0.1	0.514	1.028	5.0 ± 1.0

Для промежуточных значений концентрации неопределённость можно рассчитать по формуле:

$$U=0.018X+0,128.(24)$$

Из примера видно, что при низких концентрациях бензола дополнительные (неучтённые в процессе аттестации методики) факторы практически не оказывают влияния на неопределённость результата. При высоких концентрациях бензола их вклад в неопределённость результата резко возрастает. Таким образом, игнорирование дополнительных факторов может привести к переоценке качества результатов, и, как следствие, к ошибочному заключению о качестве бензина.

Как видно из текста и приведенных примеров, использовать понятие неопределенности в практической деятельности лабораторий технически не сложно. Правда, как это всегда бывает при введении новых понятий, переход к использованию неопределенности и связанным с ней величинам требует привыкания.

Пример-4

В [18] приводятся экспериментально полученные результаты измерений теплопроводности трикотажного полотна артикула 43 по ГОСТ 28554 при различных температуре и влажности. Оценены точностные характеристики в виде суммарной стандартной неопределенности полученных в работе результатов. Нами оценена неопределенность измерения теплопроводности упомянутого трикотажного полотна в диапазоне температур от 10 до 70°C и влажности от 0 до 40%. Измерения проведены на установке ИТП-300, разработанной Отделом теплофизики Академии наук Республики Узбекистан.

Обработка экспериментальных данных осуществлена методом обработки результатов совместных измерений [20]. В качестве функций, описывающих зависимости теплопроводности от влажности и температуры, нами использованы полиномы второй ($m=2$) степени

$$\lambda_{T,k} = \lambda_0 + \beta_1 T_k + \beta_2 T_k^2, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

На рис. 4 изображены результаты экспериментальных измерений теплопроводности трикотажного полотна артикула 43 по ГОСТ 28554 [21]. На этом рисунке представлены также теоретические кривые зависимости теплопроводности от влажности и температуры, полученные в результате обработки экспериментальных данных, используя полиномы третьей степени.

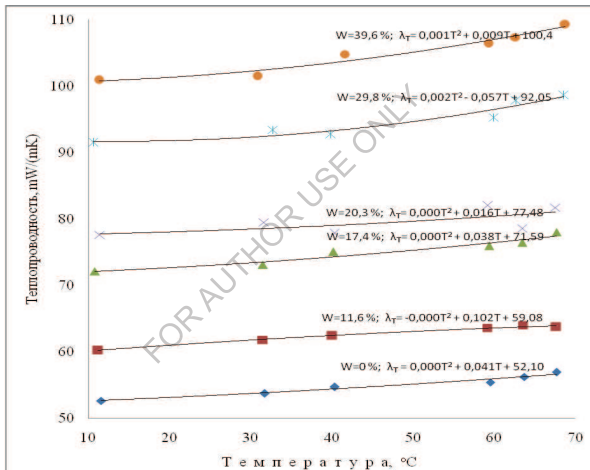


Рис.4. Теплопроводность трикотажного полотна по ГОСТ 28554.

Суммарные неопределенности $u_c(\hat{\lambda}_0)$, $u_c(\hat{\beta}_1)$, $u_c(\hat{\beta}_2)$ нахождения оценок величин λ_0 , β_1 , β_2 , найденных как результат совместных измерений, вычислены по формулам

$$u_c(\hat{\lambda}_0) = \sqrt{\frac{D_{11}}{D}} \cdot u(\delta); \quad u_c(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\frac{D_{22}}{D}} \cdot u(\delta); \quad u_c(\hat{\beta}_2) = \sqrt{\frac{D_{33}}{D}} \cdot u(\delta) \quad (26)$$

где: D_{11} , D_{22} , D_{33} , т.е. $D_{(j+1)(j+1)}$ - алгебраическое дополнение элементов главного определителя D , получаемое путем удаления из матрицы определителя столбца $(j+1)$ и строки $(j+1)$

$$D_{11} = \begin{bmatrix} [T^2] \\ [T^3] \end{bmatrix}, D_{22} = \begin{bmatrix} n \\ [T^2] \\ [T^4] \end{bmatrix}, D_{33} = \begin{bmatrix} n \\ [T] \\ [T^2] \end{bmatrix}, \quad (27)$$

$u(\delta)$ – стандартная неопределенность невязки, оцениваемая по типу А по формуле

$$u(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \delta_k^2}{n-m-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \delta_k^2}{n-3}}, \quad (28)$$

причем δ_k вычислены подстановкой в каждое условное уравнение (2) оценок искоемых величин $\lambda_0, \beta_1, \beta_2$.

Наименьшая неопределенность измерения теплопроводности трикотажного полотна артикула 43 по ГОСТ 28554, как это следует из экспериментов и теоретических расчетов, наблюдается в диапазоне температур от 55 до 65°C.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К РАБОТЕ И ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

При проведении экспериментальных исследований и обработке результатов эксперимента необходимо ознакомиться с методами измерения применяемых параметров. В данном случае мы рассматриваем частоты и интервалов времени. Более подробно с данными источниками можно ознакомиться в [23], [24], [25] и [26]. При этом необходимо будет обратить особое внимание на изучение принципа работы цифровых частотомера и периодомера и применение осциллографа для измерения периода и частоты сигналов.

8.1. Оценка неопределенности измерений частоты и периода

Известно, что частота f и период T связаны между собой соотношением:

$$f = \frac{1}{T} \quad (29)$$

то, зная оценку неопределенности одного параметра, легко оценить неопределенность другого, воспользовавшись методикой оценки неопределенности косвенных измерений [23]

$$\Delta_f = \left| \frac{\delta f}{\delta T} \Delta_T \right| = \left| -\frac{1}{T^2} \Delta_T \right| = \frac{\Delta_T}{T^2}, \quad (30)$$

$$\Delta_T = \Delta_T \cdot T^2 = \frac{\Delta_f}{f^2},$$

или

$$(31)$$

где Δ_T - граница абсолютной неопределенности измерения периода;

Δ_f - граница абсолютной неопределенности измерения частоты.

Перейдя к относительным неопределенностям периода d_T и частоты d_f , получим:

$$\delta_T = \frac{\Delta_T}{T} = \frac{\Delta_f}{f} = \delta_f, \quad (32)$$

8.2. Оценка неопределенности измерения частоты цифровым частотомером

Относительная неопределенность измерения частоты частотомером d_f складывается из двух компонентов: относительной неопределенности частоты образцового (обычно кварцевого) генератора частотомера d_0 и относительной неопределенности дискретизации (квантования) d_Δ , вызванной тем, что аналоговую величину представляют целым числом импульсов N

$$\delta_f = \delta_0 + \delta_\Delta, \quad (33)$$

Значение d_0 задано в метрологических характеристиках частотомера, d_0 вычисляют из выражения:

$$\delta_d = \frac{1}{N} \cdot 100, [\%] = \frac{1}{f_x \cdot \Delta t_0} \cdot 100, [\%], \quad (34)$$

где f_x - измеренное значение частоты; Δt_0 - время счета, установленное на частотомере.

8.3. Оценка неопределенности измерения периода цифровым периодомером

Относительную неопределенность измерения периода d_T оценивают по формуле Δt_0 :

$$\delta_T = \left(\delta_0 + \frac{\delta_s}{n} + \frac{T_0}{n \cdot T_x} \right) \cdot 100, [\%], \quad (35)$$

где d_0 - относительная неопределенность частоты образцового (обычно кварцевого) генератора частотомера;

d_s - относительная неопределенность уровня запуска (формирования), вызванная наличием шумов в исследуемом сигнале а нестабильностью порога срабатывания формирующего устройства в периодомере;

T_0 - период следования образцовых (счетных) импульсов, установленный на периодомере, эти импульсы иногда называют тактовыми или метками времени;

n - множитель периода исследуемого сигнала, установленный на периодомере (коэффициент деления частоты исследуемого сигнала);

T_x - измеренное значение периода.

Значения d_0 и d_s , указаны в метрологических характеристиках прибора.

8.4. Оценка неопределенности измерения периода методом калиброванной линейной развертки.

Значение измеряемого периода T_x в этом случае находят по формуле:

$$T_x = \frac{K_p \cdot l_T}{n}, \quad (36)$$

где K_p - значение коэффициента развертки, при котором осуществляют измерение;

l_T - размер изображения, соответствующий целому числу периодов и исследуемого сигнала.

Границу относительной неопределенности измерения временного интервала осциллографом d_v , находят по формуле:

$$\delta_{T_x} = \delta_T = \sqrt{\delta_{K_p}^2 + \delta_{0,5U}^2 + \delta_{\text{визт}}^2}, \quad (37)$$

где d_{T_x} - граница относительной неопределенности измерения периода осциллографом;

d_{K_p} - граница относительной неопределенности коэффициента развертки (указана в метрологических характеристиках осциллографа);

$d_{0,5U}$ - граница относительной неопределенности, вызванной неточностью определения уровня 0,5 пикового значения импульса (учитывается только при измерении длительности импульса);

$d_{\text{визт}}$ - граница относительной визуальной неопределенности измерения линейного размера осциллограммы l_T .

Эти границы определяют по приближенным формулам:

$$\delta_{0,5U} \approx \frac{0,4b}{h} \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_1 + \text{tg}^2 \alpha_2} \cdot 100, [\%], \quad (38)$$

$$\delta_{\text{визт}} \approx \frac{0,4b}{l_T} \cdot 100, [\%], \quad (39)$$

где b - ширина линии осциллограммы (в делениях или миллиметрах);

h - размер изображения сигнала по вертикали (в тех же делениях или миллиметрах).

8.5. Оценка неопределенности измерения частоты методом сравнения

При измерении частоты методом сравнения (рис.5) путем регулировки частоты образцового генератора с помощью устройства сравнения достигают выполнения равенства

$$m f_{\text{изм}} = n f_0, \quad (40)$$

где m и n - целые числа, а $f_{\text{изм}}$ - частота измеряемого сигнала.

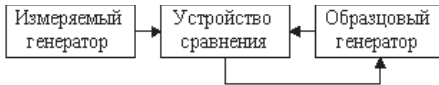


Рис. 5 - Измерение частоты методом сравнения.

В этом случае относительная неопределенность измерения частоты $\delta_{\text{изм}}$ определяется двумя компонентами: относительной неопределенностью частоты образцового источника δ_{f_0} , и относительной неопределенностью установления равенства (40) – неопределенностью сравнения $\delta_{\text{ср}}$.

Связь границы абсолютной неопределенности измерения частоты $\Delta_{\text{изм}}$ с границей абсолютной неопределенности частоты образцового генератора Δ_{f_0} легко установить с помощью методики оценки неопределенности косвенных измерений [30]

$$\Delta_{f_{\text{изм}}} = \frac{n}{m} \Delta_{f_0}, \quad (41)$$

или, перейдя к относительным неопределенностям, получим

$$\delta_{f_{\text{изм}}} = \frac{\Delta_{f_{\text{изм}}}}{f_{\text{изм}}} = \frac{\Delta_{f_0}}{f_0} = \delta_{f_0}, \quad (42)$$

С учетом неопределенности сравнения

$$\delta_{f_{\text{изм}}} = \delta_{f_0} + \delta_{\text{ср}}, \quad (43).$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедряемая в настоящее время в практику концепция «неопределенности измерения» позволяет достаточно легко рассчитывать неопределенность измерения как в производственных, так и в лабораторных условиях и сравнивать результаты измерений, проведенных в различных лабораториях.

Знание же неопределенности проведенных измерений позволяет с большей точностью оптимизировать производственные процессы. Из рассмотренных метрологических задач можно предложить общее правило: точность результатов измерений в большинстве метрологических задач характеризуется неопределенностью, а точность средств измерений характеризуется пределами погрешностей. Понятие «погрешность» используется при сравнении с опорным значением величины, а оценки погрешностей получаются при калибровке и поверке средств измерений. Таким образом, понятия «неопределенность» и «погрешность» рекомендуется гармонично использовать без взаимного противопоставления и исключения одного из них.

Для анализа представляем расширенную неопределенность индивидуальной градуировки датчиков в ПК «ТЕСЕЙ» представленной в таблице-14 [9,22].

Примечание: ВПД – верхний предел диапазона.

Таблица 14

Тип датчика	Диапазон градуировки °С	Расширенная неопределенность градуировки °С	Примечание (документы, представляемые Заказчику)
ТСПТ	0 и 100°С	0.03 и 0.05	Протокол поверки
ТСПТ	-30...0...660	0.1 ... 0.03 . 0.8 (-30) (0) (660)	Полином и таблица функции отклонения от НСХ
ТСМТ	0 и 100°С	0.03 и 0.05	Протокол поверки
ТСМТ	-30...0...200	0.1 ... 0.03 . 0.2 (-30) (0) (200)	Полином и таблица функции отклонения от НСХ
ТП любого типа (свидетели)	300 ... ВПД	1.0 ... 1.5	Протокол поверки

ТП любого типа	Полный, по п. 1	0.3 ... 1.1	Полином и таблица функции отклонения от НСХ для каждого датчика
ТП любого типа (выборка 10-20% от партии)	Полный, по п. 1	0.7 ... 1.3	Полином и таблица функции отклонения от НСХ по осредненным данным для всей партии
ТП любого типа	50 ... 300	0.3	Полином и таблица функции отклонения от НСХ для каждого датчика
ТП любого типа (выборка 10-20% от партии)	50 ... 300	0.6	Полином и таблица функции отклонения от НСХ по осредненным данным для всей партии
ТП (ХА, НН, ЖК, ПП)	100 ... 700	0.3 ... 0.8	Полином и таблица функции отклонения от НСХ для каждого датчика
ТП (ХА, НН, ЖК, ПП)(выборка 10-20% от партии)	100 ... 700	0.5 ... 0.9	Полином и таблица функции отклонения от НСХ по осредненным данным для всей партии
ТП (ХА, НН, ЖК, ПП)	300 ... ВПД или ниже	0.7 ... 1.1	Полином и таблица функции отклонения от НСХ для каждого датчика
ТП (ХА, НН, ЖК, ПП)(выборка 10-20% от партии)	300 ... ВПД или ниже	0.7 ... 1.3	Полином и таблица функции отклонения от НСХ по осредненным данным для всей партии
ТП (ХА, НН, ЖК, ПП)	$\Delta t=200$ (300) °С Нижний предел > 600 °С	0.7 ... 1.1	Полином и таблица функции отклонения от НСХ для каждого датчика
ТП (ХА, НН, ЖК, ПП)(выборка 10-20% от партии)	$\Delta t=200$ (300) °С Нижний предел > 600 °С	0.8 ... 1.3	Полином и таблица функции отклонения от НСХ по осредненным данным для всей партии
Любой ТС-У, любой ТП-У	Настройка комплекта «датчик+ИП» на класс точности ИП		Отметка в паспорте на комплект.

Перечень условных обозначений и сокращений:

- МКМВ - Международный комитет мер и весов;
- МЭК - Международная электротехническая комиссия;
- ИСО - Международная организация по стандартизации;
- МОЗМ - Международная организация по законодательной метрологии;
- МАПП - Метрологическая ассоциация промышленников и предпринимателей;
- ТЭДС - тепло электродвижущая сила;
- ТП - термопара;
- ТЭ - термоэлектрод;
- ТС - термометр сопротивления;
- СКО - среднее квадратическое отклонение;
- НСХ - номинальная статистическая характеристика;
- ВПД - верхний предел диапазона;
- ВПТ - верхний предел температуры;
- ЧЭ - чувствительный элемент;
- ИП - измерительный преобразователь;
- ПП - первичный преобразователь;
- ПК«Тесей» - Производственная компания «Тесей»;

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». ИПК Издательство стандартов, 2001. 24 с.
2. Рекомендации по метрологии Р 50.2.028-2003. Алгоритмы построения градуированных характеристик средств измерений состава веществ и материалов и оценивание их погрешностей (неопределенностей). ИПК Издательство стандартов, 2003.
3. Рекомендации по метрологии Р 50.2.038-2004. Измерения однократные прямые. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. ИПК Издательство стандартов, 2004.
4. Дворкин В.И., Болдырев И.В. «Понятие неопределенности и его
5. Использование в лабораторной практике».
6. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. ISO, Geneva, 1993. ISBN 0-948926-08-2.
7. EUROCHEM/CITAC Guide “Quantifying Uncertainty in Analytical Measurements”, Second Ed., 2000. Имеется русский перевод: Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК “«Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях»», второе издание. Пер. с англ. Р.Л.Кадиса, Г.Р. Нежиховского, В.Б. Симины под ред. Л.А. Конопелько. Санкт-Петербург, 2002 г. 141 с.
8. Кузнецов В.П. Измерительная техника. 2003. № 8. С. 21-27.
9. Cochren W.G. Sampling Techniques (2nd Ed.) J. Wiley & Sons, New York, 1963. 413 p.
10. Каржавина А.В. Производственно-аналитические раздаточные материалы ПК «ТЕСЕЙ». 2010. <http://WWW.tesey.com>
11. ILAC G 17: 2002 “Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IFS 17025”. www.ilac.org
12. ILAC G 15: 2001 “Guidance for Accreditation to ISO/IFS 17025”. www.ilac.org
13. ГОСТ Р ИСО 5725-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений» в 6 частях. ИПК Издательство стандартов, 2002.

14. МИ 2336-2002. «Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки».
15. ISO/TS 21748:2004 “Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation”.
- 16.ГОСТ 26781-85 «Молоко. Метод измерения рН.» М., Издательство стандартов, 1994
17. ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчёт динамической вязкости», М., ИПК Издательство стандартов, 2001
18. ГОСТ Р 51930-2002 «Бензины автомобильные и авиационные. Определение бензола методом инфракрасной спектроскопии», М., ИПК Издательство стандартов, 2002.
19. В.Б.Латипов, О.Ш.Хакимов. Неопределенность результатов измерения теплопроводности трикотажного полотна. Химическая технология.Контроль и управление. 2009.№4 с.27-31.
20. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. (Руководство по
21. выражению неопределенности измерения) Международная организация по стандартизации, CHF 92. ISO, Case postale 56, CH-1211 Geneva, Switzerland, эл.почта: sales@iso.org. вебсайт: www.iso.org
22. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. Учеб. пособие: –Харьков, Консум, 2002.- 256 с.
- 23.ГОСТ 28554-90 Полотно трикотажное. Общие технические условия.
- 24.П.И. Каландаров, Б. Искадаров, П.Р. Исмагуллаев, В.А. Каржавин, А.В.Белевцев. Оценка неопределенности выполнения измерений при проведении поверки и градуировки терморпар и термометров сопротивления. Химическая технология. Контроль и управление.2011,№2 с.40-46.
- 25.Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. Учеб. Пособие для вузов / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.: Под ред. Б.П. Хромого. - М.: Радио и связь, 1986. - 424 с.
- 26.Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, С.М. Верник. Измерения в технике связи. Учебник для вузов : 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Связь, 1976. - 432 с.
- 27.Г.Я. Мирский. Электронные измерения : 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1986. - 440 с.
- 28.Частотомеры 43-32, 43-33, 43-34 (43-34А), 43-36. Часть I. Методические указания по применению / П.А. Желнов, И.Н. Запасный, В.И. Сметанин, А.Г. Черевко. - Новосибирск: НЭИС, 1988. - 29 с.

29. Методические указания по применению универсальных осциллографов. Часть I / П.А. Желнов, И.Н. Запасный, В.И. Сметанин, А.Г. Черевко. - Новосибирск: НЭИС, 1989. - 37 с.
30. Часотомеры 43-32, 43-33, 43-34 (43-34А), 43-36. 4 часть II. Инструкции по эксплуатации / П.А. Желнов, И.Н. Запасный, В.И. Сметанин, Л.Г. Черевко. - Новосибирск: НЭИС, 1988. - 37 с.
31. Оценка неопределенности измерений при экспериментальных исследованиях. Учебное пособие / И.Н. Запасный, Ю.А. Пальчун, В.И. Сметанин и др. - Новосибирск: СибГУТИ, 2001. - 60 с.
32. Н.И. Горлов, И.Н. Запасный, В.И. Сметанин. Оценка инструментальных погрешностей при экспериментальных исследованиях. Методические указания. - Новосибирск: СибГУТИ, 1995. - 27 с.

FOR AUTHOR USE ONLY

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные термины.....	5
2. Построение модели для оценки результата измерения.....	10
3. Введение понятия неопределенности и величины связанные с ним...	15
4. Основные нормативные документы по неопределенности измерения.....	17
5. Принципы расчета расширенной неопределенности измерения.....	18
6. Источники неопределенности и их характеристики.....	27
7. Примеры расчета оценки неопределенности измерения.....	33
8. Методические рекомендации по подготовке к работе и обработке результатов эксперимента.....	41
Заключение	46
Перечень условных обозначений и сокращений	48
Список использованной литературы	49

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**More
Books!**



yes
I want morebooks!

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.shop

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн – в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! окружающей среде благодаря технологии Печати-на-Заказ.

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.shop

KS OmniScriptum Publishing
Brivibas gatve 197
LV-1039 Riga, Latvia
Telefax: +371 686 20455

info@omniscryptum.com
www.omniscryptum.com

OMNIscriptum



FOR AUTHOR USE ONLY