

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.03.2024
		Редакция 1 Страница 1 из 34

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ЦОС
 _____ А.Д. Пендюрин
 «02» _____ 2024 г.

РАБОЧАЯ ИНСТРУКЦИЯ
Рекомендации для расчета неопределенности измерений
РИ 04.01.2024

Разработал
 Менеджер по качеству
 _____ Т.О. Беспалова
 «02» _____ 2024 г.

Изменение							
Дата							

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 2 из 34

1. Обозначения и сокращения.

a - коэффициент, указывающий отрезок, отсекаемый прямой на оси абсцисс в эмпирической функции

$$\hat{s}_R = a + bm;$$

B - лабораторная составляющая смещения;

b - коэффициент наклона прямой в эмпирической функции $\hat{s}_R = a + bm$;

c - коэффициент в эмпирической функции $\hat{s}_R = cm^d$;

c_i - коэффициент чувствительности $\partial y / \partial x_i$;

d - коэффициент показателя степени в эмпирической функции $\hat{s}_R = cm^d$;

e - случайная погрешность результата измерений (остаточная ошибка);

e_T - случайная погрешность результата измерений (остаточная ошибка) в условиях повторяемости;

k - числовой коэффициент, используемый как множитель суммарной стандартной неопределенности u при определении расширенной неопределенности U ;

l - количество лабораторий;

m - среднее измеряемой величины;

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 3 из 34

- N - количество составляющих, используемых в вычислениях неопределенности;
- N' - количество объединяемых составляющих при вычислении суммарной неопределенности в дополнение к совместно исследуемым данным;
- n_l - количество повторений на одном уровне лабораторией l ;
- n_r - количество повторений измерения;
- P - количество лабораторий;
- Q - количество объектов испытаний из большей (по количеству) партии;
- q - количество назначенных величин в соответствии с соглашением в процесс совместных исследований;
- r_{ij} - коэффициент корреляции x_i и x_j (изменяется от -1 до +1);
- s_b - стандартное отклонение, представляющее межгрупповую составляющую дисперсии;
- s_b^2 - межгрупповая составляющая дисперсии;
- s_D - оценочное или экспериментальное стандартное отклонение результатов наблюдений, полученных повторными измерениями на образце сравнения, используемом при контроле смещения;
- s_i - стандартное отклонение повторяемости с ν_i степенями свободы;
- s_{inh} - неопределенность, соответствующая неоднородности образца;

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 4 из 34

- s_{inh}^2 - составляющая дисперсии, соответствующая неоднородности образца;
- s_L - экспериментальное или оценочное межлабораторное стандартное отклонение;
- s_L - скорректированная неопределенность, соответствующая B , когда вклад зависит от выходной переменной;
- s_L^2 - оцениваемая дисперсия B ;
- s_Y - внутрилабораторное стандартное отклонение;
- s_Y - скорректированная оценка внутрилабораторного стандартного отклонения, когда вклад зависит от выходной переменной;
- s_Y^2 - оцениваемая дисперсия s_Y ;
- s_R - оцениваемое стандартное отклонение воспроизводимости;
- s'_R - скорректированная оценка стандартного отклонения воспроизводимости;
- s_R - скорректированное стандартное отклонение воспроизводимости, вычисленное по эмпирической модели, когда вклады зависят от выходной переменной;
- s_w - внутрилабораторное стандартное отклонение, полученное из повторных измерений или других повторных исследований;

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 5 из 34

s_w^2 - внутригрупповая составляющая дисперсии (часто внутрिलाбораторная составляющая дисперсии);

$s(\Delta)$ - лабораторное стандартное отклонение разностей при сравнении обычного метода с точным методом;

x_i - i -е исходное значение при определении результата;

x_i' - отклонение i -го исходного значения от номинального значения x ;

x_j - j -е исходное значение при определении результата;

$u(\delta)$ - неопределенность, соответствующая δ , вызванная неопределенностью оценки δ , по измерениям исходного эталона или сравнения образца с сертифицированным значением μ ;

$u(\mu)$ - неопределенность, соответствующая сертифицированному значению μ ;

$u(y)$ - суммарная стандартная неопределенность, соответствующая

$$y(u(y)) = \sqrt{\sum_{i=1, n} c_i^2 u^2(x_i)} ;$$

$u(Y)$ - суммарная неопределенность для результата

$$Y = f(y_1, y_2, \dots) (u(Y) = \sqrt{\sum_i [c_i u(y_i)]^2} ;$$

$u^2(y)$ - суммарная стандартная неопределенность, соответствующая y , выраженная через дисперсию;

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 6 из 34

- u_{inh} - неопределенность, соответствующая неоднородности выборки;
- U - расширенная неопределенность, равная стандартной неопределенности u , умноженной на k ;
- $U(y)$ - расширенная неопределенность y , когда $U(y) = ky(y)$ (k - коэффициент охвата);
- y_i - результат испытаний i -го объекта точного метода при сравнении методов;
- y_i - результат испытаний i -го объекта от обычного метода испытаний при сравнении методов;
- y_0 - заданное значение для проверки квалификации;
- Δ - лабораторное смещение;
- Δ_l - оценка смещения l -й лаборатории, равная среднему лаборатории m , минус сертифицированное значение μ ;
- $\bar{\Delta}_y$ - среднее смещение лаборатории при сравнении обычного метода с фиксированным;
- δ - смещение, соответствующее используемому методу измерений;
- δ - оцененное или измеренное смещение;
- μ - неизвестное математическое ожидание результата*;

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 7 из 34

μ - сертифицированное значение образца сравнения;

μ

σ_0 - стандартное отклонение при проверке квалификации;

σ_D - истинное значение стандартного отклонения результатов, полученных повторными измерениями на образце сравнения, используемом для контроля смещения;

σ_L - межлабораторное стандартное отклонение; стандартное отклонение B ;

σ_L^2 - дисперсия B ; межлабораторная дисперсия;

σ_r - внутрилабораторное стандартное отклонение; стандартное отклонение ε_r ;

σ_r^2 - дисперсия ε_r ; внутрилабораторная дисперсия;

σ_w - стандартное отклонение внутри группы;

σ_{w0} - стандартное отклонение, требуемое для адекватной работы ИСО Руководство 33;

ν_{eff} - эффективная степень свободы для стандартного отклонения или неопределенности, соответствующей входному значению x_i ;

ν_i - число степеней свободы.

2. Ответственный персонал

2.1. Контроль над внедрением и эффективным исполнением требований данной инструкции осуществляют эксперты по признанию компетентности (эксперты) в ходе оценок деятельности испытательных лабораторий (центров).

2.2. Эксперты несут ответственность за выполнение требований данной инструкции при проведении работ по признанию компетентности испытательных

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 8 из 34

лабораторий (центров).

3. Описание процедуры

3.1 Термины и определения

3.1.1 **смещение (bias)**: Разность между математическим ожиданием результатов наблюдений (испытаний и измерений) и принятым опорным значением.

3.1.2 **суммарная стандартная неопределенность (combined standard uncertainty) $u(y)$** : Стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения нескольких других величин, равная положительному квадратному корню из суммы членов, представляющих собой дисперсии или ковариации этих других величин, взятых с весами, соответствующими степени влияния этих величин на результат измерений.

3.1.3 **коэффициент охвата (coverage factor) k** : Числовой коэффициент, используемый как множитель суммарной стандартной неопределенности при определении расширенной неопределенности. Коэффициент охвата k находится обычно в диапазоне от 2 до 3.

3.1.4 **расширенная неопределенность (expanded uncertainty) U** : Величина, определяемая интервалом вокруг математического ожидания результатов измерений, охватывающим большую долю распределения значений, которые обоснованно могут быть приписаны измеряемой величине.

3.1.5 **прецизионность (precision)**: Близость между независимыми результатами наблюдений, полученными при определенных принятых условиях.

3.1.6 **повторяемость (repeatability)**: Прецизионность в условиях повторяемости, то есть в условиях, когда независимые результаты наблюдений получены одним методом на идентичных объектах наблюдений в одной лаборатории одним и тем же оператором с использованием одного оборудования и за короткий интервал време.

3.1.7 **стандартное отклонение повторяемости (repeatability standard deviation)**: Стандартное отклонение результатов наблюдений, полученных в условиях повторяемости.

3.1.8 **воспроизводимость (reproducibility)**: Прецизионность в условиях воспроизводимости, то есть в условиях, когда результаты наблюдений получены одним методом на идентичных объектах наблюдений в различных лабораториях с разными операторами с использованием различного оборудования.

3.1.9 **стандартное отклонение воспроизводимости (reproducibility standard deviation)**: Стандартное отклонение результатов наблюдений, полученных в условиях воспроизводимости.

3.1.10 **стандартная неопределенность (standard uncertainty) $u(x_i)$** : Неопределенность результатов измерений, выраженная в виде стандартного отклонения.

3.1.11 **правильность (trueness)**: Близость среднего значения, полученного на

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 9 из 34

основании серии результатов наблюдений, к принятому опорному значению.

3.1.12 неопределенность (измерения) (uncertainty): Параметр, связанный с результатом измерений, характеризующий рассеяние значений, которые обоснованно могут быть приписаны измеряемой величине.

3.1.13 бюджет неопределенности (uncertainty budget): Список источников неопределенности с соответствующими им стандартными неопределенностями, собранный для определения суммарной стандартной неопределенности результата измерений.

3.2. Вводная часть.

3.2.1 Неопределенность измерений относят к отдельным результатам измерений. Повторяемость, воспроизводимость и правильность, напротив, относят к выполнению процесса измерений или испытаний. Для анализа в соответствии со всеми частями ИСО 5725 процесс измерений или испытаний является единым методом измерений, используемым всеми лабораториями, принимающими участие в исследовании. Следует заметить, что в настоящих рекомендациях под методом измерений понимают единственную детальную процедуру. Неявно в настоящей инструкции предполагается, что графики, отражающие выполнение процесса, полученные при исследовании метода, соответствуют всем отдельным результатам измерений, полученным с помощью процесса. Это предположение требует подтверждающих доказательств в виде данных соответствующего контроля качества и уверенности в качестве процесса измерений.

3.2.2 Ниже будет показано, что дополнительно может потребоваться учитывать различия между отдельными объектами испытаний. Однако в этом случае не нужно предпринимать индивидуальные и детальные исследования неопределенности для каждого объекта испытаний при наличии хорошо охарактеризованного и устойчивого процесса измерений.

3.3. Применение данных воспроизводимости

Применение данного документа основано на двух принципах:

- стандартное отклонение воспроизводимости, полученное при совместных исследованиях, является правомерной основой для оценки неопределенности измерений (см. ГОСТ ISO Guide 33-2019);

- воздействия, не наблюдаемые в процессе совместных исследований, должны быть незначительными или явно учитываться. Последний принцип является расширением основной модели, используемой для совместных исследований (см. А.2.3).

3.4. Основные уравнения статистической модели

3.4.1 Статистическая модель, на которой основано данное руководство, сформулирована в виде уравнения:

$$y = \mu + \delta + B + \sum c_i x_i' + e, \quad (1)$$

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 10 из 34

где y - наблюдаемый результат, рассчитываемый по уравнению: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$;

μ - неизвестное математическое ожидание;

δ - смещение, присущее методу измерений;

B - лабораторная составляющая смещения;

x_i' - отклонение от номинального значения x_i ;

c_i - коэффициент чувствительности, равный $\partial y / \partial x_i$;

e - остаточная ошибка.

Предполагается, что B и e подчиняются нормальному распределению с нулевым средним и дисперсиями σ_B^2 и σ_e^2 соответственно. Эти предположения формируют модель, используемую в ИСО 5725-2 для анализа совместных данных.

Так как наблюдаемые стандартные отклонения смещения метода δ , лабораторные смещения B и остаточные ошибки e являются полными мерами разброса в условиях совместного исследования, сумма $\sum c_i x_i'$ учитывает воздействия, которые вызывают отклонения, не включенные в δ , B или e , и, таким образом, эта сумма позволяет учесть влияние действий, которые не выполнялись в ходе совместных исследований.

Примерами таких действий являются следующие:

а) подготовка объекта испытаний, выполняемая практически для каждого испытываемого объекта, но выполненная до совместных исследований;

б) влияние подвыборки в случае, когда объекты, подвергаемые совместному исследованию, были гармонизированы до исследования. Предполагается, что x_i' подчиняются нормальному распределению с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $u^2(x_i)$.

Пояснения для этой модели приведены в приложении А.

Примечание - Ошибка обычно определяется как разность между установленным значением и результатом измерений. В "ошибку" четко отличают от "неопределенности" (разброса значений). При оценке неопределенности, однако, важно характеризовать разброс значений, вызванный случайными воздействиями, и включать его в модель. Для представленных целей это достигается включением члена, характеризующего "ошибку" с нулевым математическим ожиданием, как в уравнении (1).

3.4.2 Учитывая модель, описываемую уравнением (1), неопределенность $u(y)$,

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 11 из 34

связанную с наблюдениями, можно оценить, применяя уравнение:

$$u^2(y) = u^2(\hat{\delta}) + s_L^2 + \sum c_i^2 u^2(x_i) + s_Y^2, \quad (2)$$

где s_L^2 - оценка дисперсии B ;

s_Y^2 - оценка дисперсии e ;

$u(\hat{\delta})$ - неопределенность, вызванная неопределенностью оценки δ , полученной на основе измерений исходного эталона или образца сравнения с сертифицированным значением $\hat{\mu}$;

$u(x_i)$ - неопределенность, связанная с x_i' .

Учитывая, что стандартное отклонение воспроизводимости s_R , задаваемое равенством $s_R^2 = s_L^2 + s_Y^2$, s_R^2 , можно заменить на $s_L^2 + s_Y^2$, уравнение (2) можно привести к уравнению

$$u^2(y) = u^2(\hat{\delta}) + s_R^2 + \sum c_i^2 u^2(x_i). \quad (3)$$

3.5. Данные повторяемости

Данные повторяемости используют в настоящих рекомендациях прежде всего для проверки прецизионности, которая в соединении с другими тестами подтверждает, что конкретная лаборатория может применять данные воспроизводимости математического ожидания и правильности при оценке неопределенности. Данные повторяемости используют также при вычислении составляющей воспроизводимости в неопределенности

3.6. Оценка неопределенности с использованием оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности.

3.6.1. Процедура оценки неопределенности измерений

Алгоритм оценки неопределенности измерений в общем виде включает в себя следующее:

а) получение оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности метода на основе опубликованной информации о методе;

б) проверка, не превышает ли лабораторное смещение, рассчитанное по измерениям на основе данных, полученных в соответствии с перечислением а);

с) проверка, не превышает ли прецизионность, полученная по текущим измерениям прецизионности, полученной на основе оценок повторяемости и воспроизводимости в соответствии с перечислением а);

д) идентификация любых воздействий на измерение, которые не были учтены в процессе исследований в соответствии с перечислением а), и определение количественной оценки отклонения, которое может вызывать эти воздействия,

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 12 из 34

учитывая коэффициент чувствительности и неопределенности каждого воздействия;

е) объединение оценки воспроизводимости (перечисление а)) с неопределенностью соответствующей правильности (перечисления а) и б)) и результатами дополнительных воздействий (перечисление d)) для формирования оценки суммарной неопределенности, когда смещение и прецизионность находятся под контролем в соответствии с перечислениями б) и с).

Примечание - В случае, когда смещение является неконтролируемым, выполняют корректирующие действия, чтобы привести процесс в управляющую зону.

3.6.2. Различия между фактической прецизионностью и ее математическим ожиданием

Если фактическая прецизионность отличается от математического ожидания прецизионности, полученного на основе исследований в соответствии с перечислением а), соответствующие вклады в неопределенность должны быть учтены.

3.7. Установление соответствия данных выполнения метода результатам измерений для конкретного процесса измерений

3.7.1 Общие положения

Результатами совместного исследования являются s_R , s_T , и, в некоторых случаях, оценка смещения метода, которые формируют требования для выполнения метода. При принятии метода для применения ожидается, что лаборатория продемонстрирует, что она выполняет эти требования. В большинстве случаев это достигается исследованиями, направленными на подтверждение контроля повторяемости (см. 3.7.3) и лабораторной составляющей смещения (см. 3.7.2), и постоянными проверками выполнения метода (контроль и обеспечение качества (см. 3.7.4)).

3.7.2. Демонстрация контролируемости лабораторной составляющей смещения.

3.7.2.1 Общие требования

3.7.2.1.1 Лаборатория должна продемонстрировать, что ее смещение при выполнении метода находится под контролем, то есть лабораторная составляющая смещения не выходит за пределы смещения, полученного из совместных исследований. В следующих описаниях предполагается, что контроль смещения выполнен на материалах значениями, близкими к объектам исследования при обычных испытаниях. В тех случаях, когда материалы, используемые для проверки смещения, не имеют значений, близких к материалам, исследуемым при обычных испытаниях, итоговые вклады в неопределенность должны быть исправлены в соответствии с условиями 3.8.4 и 3.8.5.

3.7.2.1.2 В общем случае проверка лабораторной составляющей смещения сводится к сравнению лабораторных результатов с некоторыми эталонными значениями и представляет собой оценку B . Уравнение (2) показывает, что

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 13 из 34

неопределенность, связанная с изменениями B , характеризуется S_L , непосредственно входящей в S_R . Однако, поскольку проверка смещения имеет собственную неопределенность, неопределенность сравнения в принципе увеличивает неопределенность результатов, получаемых при будущих применениях метода. По этой причине важно гарантировать, что неопределенность, связанная с проверкой смещения, мала по сравнению с S_R (в идеале меньше, чем $0,2 S_R$) и, следовательно, соответствующее увеличение неопределенности является незначительным. В этом случае, если свидетельства чрезмерной лабораторной составляющей смещения не обнаружены, уравнение (3) применяют без изменений. Если неопределенность, связанная с проверкой смещения, является большой, благоразумно увеличивать неопределенность, оцененную на основе уравнения (3) (см. 3.13). Если на основе совместных исследований правильности известно, что метод имеет незначительное смещение, известное смещение метода следует учитывать при оценке лабораторного смещения, например, путем исправления результатов на известное смещение метода.

3.7.2.2. Методы демонстрации контролируемости лабораторной составляющей смещения

3.7.2.2.1 Общие положения

Контролируемость смещения может быть продемонстрирована одним из следующих методов. Последовательно одни и те же общие критерии используются для всех тестов на смещение, приведенных в настоящих рекомендациях. Допускается использовать более строгие тесты и проверки.

3.7.2.2.2 Исследование образца сравнения или эталона стандартного метода измерений

Лаборатория l должна исполнить n_l повторных измерений на исходном эталоне в условиях повторяемости, чтобы получить оценку смещения на этом веществе Δ_l (равную среднему лаборатории m минус стандартное значение μ^{\wedge}). При этом n_l следует выбирать так, чтобы неопределенность удовлетворяла неравенству

$$\sqrt{S_w^2 n_l} < 0,2 S_R$$

Следует заметить, что исходный эталон в общем случае не является тем же эталоном, который использовали при оценке правильности метода. Кроме того, Δ_l вообще не равно B . Следуя Руководству ИСО/МЭК 33 (с соответствующим изменением обозначений), процесс измерений выполняется адекватно, если

$$|\Delta_l| < 2\sigma_D, \quad (4)$$

Заменив на его приближение в уравнении (4), получаем уравнение:

$$s_D^2 = s_L^2 + \frac{s_w^2}{n_l}, \quad (5)$$

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 14 из 34

где n_i - количество повторений лаборатории i ;

s_w - внутрилабораторное стандартное отклонение, полученное на основе n_i повторений или других исследований повторяемости;

s_L - межлабораторное стандартное отклонение.

Соответствие критерию, описываемому уравнением (4), является подтверждением того, что лабораторная составляющая смещения B находится в интервале значений, установленном при совместных исследованиях. Следует обратить внимание на то, что образец сравнения или эталон используют здесь для независимой проверки или в качестве контрольного вещества, а не для калибровки.

Примечания

1 Лаборатория может применять более строгий критерий, чем уравнение (4), используя коэффициент охвата менее 2 или выполняя альтернативный и более чувствительный тест на смещение.

2 Эти процедуры предполагают, что неопределенность, связанная с эталонным значением, мала по сравнению с σ_D .

3.7.2.2.3 Сравнения с заданным методом испытаний, обладающим известной неопределенностью

Лаборатория i должна проверить соответствующее количество n_i объектов испытаний, применяя заданный метод испытаний и метод, использованный лабораторией, получив, таким образом, n_i пар (y_i, \hat{y}_i) (y_i - результат применения заданного метода к i -му объекту, а \hat{y}_i - значение, полученное применением обычного метода испытаний для i -го объекта). Затем лаборатория должна вычислять соответствующее среднее смещение $\bar{\Delta}_y$, используя уравнение (6) и стандартное отклонение $s(\Delta_y)$ разностей:

$$\bar{\Delta}_y = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1, n_i} (\hat{y}_i - y_i). \quad (6)$$

На практике значение n_i должно быть выбрано так, чтобы неопределенность удовлетворяла неравенству $\sqrt{s^2(\Delta_y)/n_i} < 0,2s_R$. По аналогии с уравнениями (4) и (5) процесс измерений удовлетворяет требованиям, если $\bar{\Delta}_y < 2s_D (s_D^2 = s_L^2 + s^2(\Delta_y)/n_i)$. В этом случае уравнение (3) используют без изменений.

Примечания

1 Лаборатория может выбирать более строгий критерий, чем уравнение (4), используя

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 15 из 34

коэффициент охвата менее 2 или выполняя альтернативный и более чувствительный тест на смещение.

2 Эти процедуры предполагают, что неопределенность, связанная с эталонным методом, мала по сравнению с σ_D .

3.7.2.2.4 Сравнение с другими лабораториями при использовании того же метода

Если лаборатория i участвует в дополнительных совместных исследованиях, для которых она может оценивать смещение, эти данные можно использовать для контроля смещения. Есть два возможных варианта:

a) при выполнении испытаний используют эталон или образец сравнения с независимо назначенными значениями неопределенности. Затем применяют процедуру 7.2.2.2 без изменений;

b) проводят проверку соответствия $q (\geq 1)$ заданных значений y_1, y_2, \dots, y_q . Лаборатории, чьи результаты представлены значениями $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_q$, следует рассчитать свое среднее смещение $\bar{\Delta}_y$ в соответствии с уравнением (7) и стандартное отклонение $s(\Delta_y)$ заданных значений.

$$\bar{\Delta}_y = \frac{1}{q} \sum_{i=1, q} (\hat{y}_i - y_i). \quad (7)$$

Процесс измерений удовлетворяет требованиям, если $\bar{\Delta}_y < 2s_D (s_D^2 = s_L^2 + s^2(\Delta_y)/q)$. В этом случае уравнение (3) используют без изменений.

Примечания

1 Эта процедура предполагает, что заданные значения основаны на количестве результатов, превышающем q , и обладают незначительной неопределенностью.

2 В некоторых схемах проверки квалификации все значения y_i преобразуют в z -множество $z_i = (y_i - y_0) / \sigma_0$ вычитанием заданного значения y_0 и делением на стандартное отклонение σ_0 (см. ИСО/МЭК Руководство 43-1). Если стандартное отклонение метода менее или равно s_R , среднее z -множества лежит между $\pm 2/\sqrt{q}$ для назначенного значения q . Это является достаточным свидетельством контролируемости смещения.

3.7.2.3. Выявление существенной лабораторной составляющей смещения

Как отмечено в разделе 1, настоящие рекомендации применимы только в тех случаях, когда лабораторная составляющая смещения находится под контролем. Если обнаружено чрезмерное смещение, предполагается, что будут предприняты действия для приведения смещения в границы требуемого диапазона до продолжения измерений. Такие действия обычно требуют проведения исследований и устранения причины смещения.

3.7.3. Верификация повторяемости

3.7.3.1 Испытательная лаборатория должна продемонстрировать, что ее

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 16 из 34

повторяемость совместима со стандартным отклонением повторяемости, полученным при совместных исследованиях. Демонстрация достигается проведением анализа одного или более подходящих испытываемых материалов для получения (объединяя результаты при необходимости) стандартного отклонения повторяемости s_i с ν_i степенями свободы. Значения s_i необходимо сравнивать, используя F-тест с 95%-ным уровнем доверия, со стандартным отклонением повторяемости s_T , полученным при совместных исследованиях. На практике для получения $\nu_i \geq 15$ следует выполнять достаточно повторений.

3.7.3.2 Если s_i значительно больше s_T , лаборатория должна или идентифицировать и устранять соответствующие причины, или использовать s_i вместо s_T во всех оценках неопределенности, рассчитанных с использованием настоящих рекомендаций. Следует обратить внимание, что это вызывает увеличение оценки стандартного отклонения повторяемости s_T , так как $s_R = \sqrt{s_L^2 + s_T^2}$ будет заменено на $s'_R = \sqrt{s_L^2 + s_i^2}$ (s'_R является скорректированной оценкой стандартного отклонения воспроизводимости). Наоборот, если s_i значительно меньше s_T , лаборатория может также использовать s_i вместо s_T , получая меньшую оценку неопределенности.

Во всех исследованиях прецизионности важно подтверждать, что данные свободны от неизвестных смещений, и проверять постоянство стандартного отклонения s_w для различных объектов испытаний. Если стандартное отклонение s_w непостоянно, может быть полезно оценить прецизионность отдельно для каждого различного класса объектов или построить общую модель (см. 8.5) для этой зависимости.

Примечание - Если требуется сравнение с заданным значением прецизионности, Руководство ИСО 33 более детально описывает соответствующий тест, основанный на $\chi_c^2 = \frac{s_w}{\sigma_{w0}}$. Здесь σ_{w0} соответствует требуемому значению прецизионности.

3.7.4. Постоянная верификация

Кроме предварительной оценки смещения и прецизионности, лаборатория должна принимать должные меры для гарантии того, что процедура измерений остается в состоянии статистического контроля. В частности, это включает следующее:

- соответствующий контроль качества, включая регулярные проверки смещения и прецизионности. Для этих проверок допускается использовать любые уместные устойчивые гомогенные объекты испытаний или материалы. Настоятельно рекомендуется использование контрольных карт (см. ГОСТ Р ИСО 7870-4 и ГОСТ Р ИСО 7870-2);

- меры по проверке качества, включая использование соответственно обученного

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 17 из 34

и квалифицированного персонала, работающего в соответствующей системе качества.

3.8. Учет особенностей объекта испытаний

3.8.1 Общие положения

В совместных исследованиях или оценке промежуточных показателей прецизионности в соответствии с ИСО 5725-2 и ИСО 5725-3 обычно проводят измерения на гомогенных материалах или объектах небольшого количества типов. Это является обычной практикой для разделения подготовленных материалов. Однако объекты испытаний могут изменяться в широком диапазоне, что может требовать дополнительной обработки до испытаний. Например, образцы для экологических испытаний часто поставляют высушенными и гомогенизированными. Обычные образцы, как правило, являются влажными, неоднородными и грубо разделенными. Соответственно необходимо исследовать и, если необходимо, учитывать эти различия.

3.8.2. Отбор выборки

3.8.2.1 Процесс отбора выборки

Совместные исследования редко включают в себя этап отбора выборки. Если метод, использованный внутри лаборатории, включает в себя подвыборки или процедура оценивает свойство большого объема материала по маленькому образцу, то влияние отбора выборки необходимо исследовать. Может быть полезно обращаться к документации по отбору выборки, например к ГОСТ Р ИСО 11648-1 или другим стандартам.

3.8.2.2 Негомогенность

Негомогенность обычно исследуют экспериментально с применением дисперсионного анализа (Analysis of Variance) к нескольким объектам испытаний, для которых составляющая дисперсии $\varepsilon_{\text{inh}}^2$, описывающая разброс между объектами, характеризует негомогенность. Если после всех установленных действий по гомогенизации испытываемые материалы признаны существенно неоднородными, эту оценку дисперсии следует преобразовать непосредственно в стандартную неопределенность (то есть $u_{\text{inh}} = \varepsilon_{\text{inh}}$). В некоторых обстоятельствах, особенно когда стандартное отклонение негомогенности найдено для выборки из Q объектов, взятой из партии, а средний результат будет применим к другим объектам партии, вклад неопределенности оценивают на основе предикционного интервала (то есть $u_{\text{inh}} = \varepsilon_{\text{inh}} \sqrt{(Q+1)Q}$). Можно также теоретически оценивать воздействие негомогенности, используя знание процесса отбора выборки и предположений о распределении, соответствующем выборке.

3.8.3 Подготовка и предварительная обработка выборки

В большинстве исследований образцы являются гомогенными и могут быть дополнительно стабилизированы до распределения. Могут потребоваться исследования, позволяющие учитывать воздействия специфических процедур

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 18 из 34

предварительной обработки внутри лаборатории. Как правило, такие исследования устанавливают воздействие этой процедуры на результаты измерений на исследуемых материалах с приблизительно или точно установленными свойствами. Воздействием может быть изменение разброса или систематических воздействий. Существенные изменения разброса следует устранять прибавлением соответствующей составляющей к бюджету неопределенности (предполагая, что воздействия увеличивают разброс). Если выявлены существенные систематические воздействия, наиболее удобно устанавливать соответствующий верхний предел. Этот предел можно рассматривать как границу прямоугольного или другого ограниченного симметричного распределения, а оценку стандартной неопределенности можно задавать в виде полуширины области изменений функции распределения, деленной на соответствующий коэффициент.

3.8.4 Изменение типа объекта испытаний

При необходимости следует исследовать неопределенность, являющуюся результатом изменения типа или состава объектов испытаний по сравнению с используемыми в совместных исследованиях. Как правило, подобные воздействия должны быть предсказаны на основе установленных воздействий, объемных свойств материала или исследованы введением систематических или случайных изменений типа или состава объектов испытаний (см. приложение В настоящей РИ).

3.8.5 Изменение неопределенности в зависимости от уровня отклика

3.8.5.1 Корректировка s_R

Обычно некоторые или большая часть составляющих неопределенности измерений зависят от измеренного значения. ИСО 5725-2 рассматривает три простых случая, когда стандартное отклонение воспроизводимости для положительной величины m приближенно описывается одной из моделей

$$\hat{s}_R = bm; \quad (8)$$

$$\hat{s}_R = a + bm; \quad (9)$$

$$\hat{s}_R = cm^d, \quad (10)$$

где \hat{s}_R - откорректированная оценка стандартного отклонения воспроизводимости, рассчитанная по приближенной модели;

a , b , c и d - эмпирические коэффициенты, полученные на основе пяти или большего количества различных объектов испытаний с различными средними откликами m (a , b и c являются положительными).

При использовании уравнений (8)-(10) неопределенность должна основываться на оценке воспроизводимости, рассчитанной с использованием соответствующей

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 19 из 34

модели.

В условиях 7.3 \hat{s}_R должен учитывать член s_T , отражающий вклад повторяемости.

Для большинства целей имеет место простое пропорциональное изменение \hat{s}_R .

$$s'_R = (a + bm) \frac{\sqrt{s_L^2 + s_i^2}}{\sqrt{s_L^2 + s_w^2}}, \quad (11)$$

где s'_R имеет то же самое значение, как и в 7.3.

3.8.5.2 Изменение других вкладов в неопределенность

В общем случае, если любая составляющая неопределенности изменяется в соответствии с измеренным откликом предсказуемым способом, соответствующая стандартная неопределенность u должна быть откорректирована соответственно.

Примечание - Если вклады в неопределенность прямо пропорциональны u , часто бывает удобно выражать все существенные воздействия в терминах мультипликативных воздействий на u , а всю неопределенность - в форме относительных стандартных отклонений.

3.9 Дополнительные факторы

Раздел 3.8 рассматривает главные факторы, которые обычно различаются в совместных исследованиях и обычных испытаниях. Возможно, что в специфических случаях могут проявляться другие воздействия. Это может быть вызвано тем, что контролируемые переменные случайно или преднамеренно были постоянными в течение совместного исследования, или тем, что полный диапазон условий, достижимых в обычной практике, не был охвачен при совместных исследованиях.

Воздействия факторов, которые считаются постоянными или которые изменяются недостаточно при совместных исследованиях, следует оценивать отдельно либо в процессе экспериментального изменения, либо в соответствии с прогнозом на основе теории. В тех случаях, когда воздействия являются существенными, неопределенность, связанную с соответствующими факторами, необходимо оценивать, регистрировать и объединять с другими вкладами обычным способом (то есть суммировать в соответствии с уравнением (3)).

3.10 Общее выражение для суммарной стандартной неопределенности

Уравнение (3), при необходимости использовать скорректированную оценку \hat{s}_R^2 вместо s_R^2 , для учета факторов, рассматриваемых в разделе 8, приводит к общему выражению (12) для оценки суммарной стандартной неопределенности $u(y)$ соответствующему результату y .

$$u^2(y) = \hat{s}_R^2 + u^2(\delta) \sum_{i=1, n'} c_i^2 u^2(x_i). \quad (12)$$

Значение $u(\delta)$ подсчитывают в соответствии с уравнением (13), см. также уравнение (A.8).

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 20 из 34

$$u(\delta) = s_{\delta} = \sqrt{\frac{s_R^2 - (1 - 1/n)s_Y^2}{p}}, \quad (13)$$

где p - количество лабораторий;

n - количество повторений в каждой лаборатории.

Переменная $u(B)$ не использована в уравнении (12), потому что неопределенность s_L , соответствующая B , уже включена s_R^2 . Индекс i охватывает воздействия, идентифицированные в разделах 8 и 9 (индексы изменяются от 1 до n'). Очевидно, что если воздействия и их неопределенности малы по сравнению с s_R , то ими можно пренебречь для большинства практических целей. Например, неопределенность менее $0,2 s_R$ ведет к изменению менее чем на $0,02 s_R$ оценки полной неопределенности.

3.11. Бюджет неопределенности, основанный на данных совместных исследований

Настоящие рекомендации используют только одну приведенную в уравнении (3) модель для описания результатов измерений или испытаний. Информацию, подтверждающую справедливость модели, можно получать из различных источников, но если неопределенность, соответствующая испытаниям, остается незначительной, используют уравнение (3). Однако есть несколько различных ситуаций, при которых уравнение (3) немного изменяется. Например, если параметры воспроизводимости или повторяемости зависят от отклика. Бюджет неопределенности, если неопределенность совсем не зависит от отклика в исследуемом диапазоне, приведен в таблице 1, а для случая, когда неопределенность зависит от отклика, - в таблице 2.

Таблица 1 - Составляющие неопределенности, не зависящие от отклика

Источник воздействия	Стандартная неопределенность ^a , соответствующая y	Комментарий
δ	$u(\delta)$	Используют, если смещение, выявленное при совместных исследованиях, устранено, а неопределенность является существенной
B	s_L	См. таблицу 2
e_Y	s_Y	Если среднее, полученное по n_Y полных повторений метода ^b , применяют к объекту испытаний, неопределенность, соответствующая e_Y , принимает вид - $s_Y / \sqrt{n_Y}$

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 21 из 34

x_i	$c_{iM}(x_i)$	См. раздел 8 и приложение В
<p>^a Стандартная неопределенность измеряется в тех же единицах, что и Y.</p> <p>^b Метод может включать n_T повторений всего метода и любые предусмотренные повторения.</p>		

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	
	РИ 04.03.2024	
	Редакция 1 Страница 22 из 34	

Таблица 2 - Составляющие неопределенности, зависящие от отклика

Источник воздействия	Стандартная неопределенность a, b , соответствующая \mathcal{Y}	Комментарий
δ	$\left \frac{dy}{d\delta} \right u(\delta)$	Используют, только если выявленное при совместном исследовании смещение устранено, а неопределенность является существенной. (Производную используют, чтобы охватить случаи, когда устранение смещения не сводится к простому сложению или вычитанию)
B	$s_L = a_L + b_L m$	a_L и b_L - коэффициенты предполагаемой линейной зависимости между s_L и средним откликом m , аналогичной уравнению (9). Эта форма применима, только если установлена зависимость s_L от m . В противном случае используют комбинированную оценку, соответствующую B и e_Y таблицы 1
e	$s_Y = a_Y + b_Y m$	a_Y и b_Y - коэффициенты предполагаемой линейной зависимости между s_Y и средним откликом m , аналогичной уравнению (9). Если среднее, полученное по n_Y полных повторений метода, применяют к объекту испытаний, неопределенность, соответствующая e_Y , принимает вид - $s_Y / \sqrt{n_Y}$. Эта форма применима, только если установлена зависимость s_Y от m . В противном случае используют объединенную оценку, соответствующую B и e_Y из таблицы 1
B, e	$s_R = b m$ $s_R = a + b m$ $s_R = c m^d$	a и b - коэффициенты линейных отношений между s_R и средним откликом m , как определено в уравнениях (9) и (10). Эту объединенную оценку следует использовать вместо отдельных оценок B и e_Y (см. таблицу 1), когда отдельные зависимости s_L и s_Y от m не установлены
x_i	$c_i u(x_i)$	См. раздел 8 и приложение В
<p>^a Стандартную неопределенность измеряют в тех же единицах, что и \mathcal{Y}.</p> <p>^b Предполагается простая линейная зависимость, соответствующая уравнению (9).</p> <p>^c Метод может включать n_Y повторений всего метода и любые предусмотренные повторения.</p>		

3.12 Оценка неопределенности комбинированного результата

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 23 из 34

3.12.1 Комбинированный результат формируют из совокупности результатов различных испытаний, каждый из которых охарактеризован совместными исследованиями. Например, вычисления по определению состава мяса обычно объединяют определением содержания белка (рассчитанного путем определения содержания азота), жира и влаги. При этом содержание каждого вещества определяют соответствующим стандартным методом.

3.12.2 Неопределенность $u(y_i)$ для каждого результата y_i может быть получена на основе принципов, приведенных в настоящих рекомендациях, или непосредственно используя уравнения (1) или (2) соответственно. Если величины y_i независимы, суммарную неопределенность $u(Y)$ для результата $Y = f(y_1, y_2, \dots)$ вычисляют по формуле

$$u(Y) = \sqrt{\sum_i [c_i u(y_i)]^2}. \quad (14)$$

Если y_i не являются независимыми, должны быть сделаны предположения относительно корреляции (также используют уравнение (A.2)).

3.13 Представление информации о неопределенности

3.13.1 Общие положения

Неопределенность может быть представлена в виде суммарной стандартной неопределенности $u(y)$ или суммарной расширенной неопределенности $U(y) = k u(y)$ (k - коэффициент охвата) (см. п. 3.13.2 настоящей РИ). Может быть удобно представить неопределенность в относительных величинах как коэффициент вариации или расширенную неопределенность, выражаемые в процентах зарегистрированных результатов.

3.13.2 Выбор коэффициента охвата

3.13.2.1 Общие положения

При оценке суммарной расширенной неопределенности применяют следующие исследования для выбора коэффициента охвата k .

3.13.2.2 Уровень доверия

Для практических целей должно быть указано значение суммарной расширенной неопределенности, соответствующее уровню доверия 95%. Однако выбор уровня доверия зависит от диапазона факторов, таких как критичность и последствия применения неправильных результатов. Эти факторы вместе с любыми рекомендациями или юридическими требованиями, касающимися применения, должны быть рассмотрены при выборе k .

3.13.2.3 Степени свободы, соответствующие оценке

3.13.2.3.1 Для большинства практических целей, когда требуется 95%-ный уровень доверия и число степеней свободы в доминирующих составляющих неопределенности превышает 10 (>10), выбор $k = 2$ обеспечивает достаточно надежный охват вероятного диапазона значений. Однако есть обстоятельства, в

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 24 из 34

которых это приводит к существенной недооценке, особенно когда один или более значимых членов уравнения (12) имеют число степеней свободы менее 7.

3.13.2.3.2 Если один такой член $u_i(y)$ с ν_i степенями свободы доминирует [признаком является выполнение неравенства $u_i(y) \geq 0,7u(y)$], обычно достаточно взять в качестве ν_{eff} эффективные степени свободы ν_{eff} , соответствующие $u(y)$.

3.13.2.3.3 Если несколько существенных членов имеют приблизительно равную величину и степени свободы, удовлетворяющие условию $\nu_i \ll 10$, для получения эффективных значений числа степеней свободы ν_{eff} следует применять уравнение Велча-Саттервейта (уравнение (15))

$$\frac{u^4(y)}{\nu_{\text{eff}}} = \sum_{i=1, N} \frac{u_i^4(y)}{\nu_i} \quad (15)$$

Значение k тогда выбирают из ν_{eff} , используя значение квантиля двустороннего распределения Стьюдента для требуемого уровня доверия и ν_{eff} степеней свободы. Это наиболее безопасно при округлении нецелых чисел ν_{eff} до ближайшего меньшего целого числа.

Примечание - Во многих областях измерений и испытаний для нормального распределения частота статистических выбросов является достаточно высокой, поэтому применение высоких уровней доверия (>95%) без хорошего знания распределения не рекомендуется.

3.14 Сравнение данных выполнения метода и неопределенности

3.14.1 Основные предположения

Оценка неопределенности измерений в соответствии с настоящими рекомендациями обеспечивает стандартную неопределенность, которая, хотя и основывается прежде всего на оценках воспроизводимости или промежуточной прецизионности, отдает должное факторам, которые не изменяются в процессе исследований, в которых эти оценки прецизионности получены. В принципе итоговая стандартная неопределенность $u(y)$ должна быть идентична неопределенности, полученной на основе детальной математической модели процесса измерений. Сравнение этих двух оценок, если это возможно, обеспечивает полезную проверку качества оценки. Рекомендованная процедура описана в 3.14.2.

Процедура основана на двух важных предположениях:

- во-первых, оценку стандартной неопределенности $u(y)$ с ν_{eff} эффективными степенями свободы обычно определяют в предположении о нормальном распределении наблюдений (это означает, что $(n-1)(s^2 / \sigma^2)$ подчиняется χ^2 распределению с $(n-1)$ степенями свободы). Это предположение позволяет использовать F-критерий. Однако, поскольку суммарная неопределенность может включать неопределенность, связанную с величинами, описываемыми распределениями различной формы с различными дисперсиями, результаты испытаний необходимо рассматривать как индикатор, а уровень доверия следует выбирать с необходимой осторожностью;

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 25 из 34

- во-вторых, обычно предполагают, что две оценки неопределенности, которые будут сравниваться, полностью независимы. Это также маловероятно на практике, так как некоторые факторы могут быть общими для обеих оценок. Более тонкие воздействия являются предметом исследований для выявления влияния составляющей неопределенности, соответствующей выполнению работ в разных лабораториях. Предполагается, что приняты необходимые меры предосторожности, чтобы избежать этого воздействия. Если значимые факторы являются общими для обеих оценок неопределенности, очевидно, что оценки будут подобны значительно чаще. В этом случае, если последовательные испытания не в состоянии выявлять существенные различия, результаты не следует трактовать как свидетельство надежности модели измерений.

3.14.2 Процедура сравнения

Для сравнения двух оценок $u(y)_1$ и $u(y)_2$ ($u(y)_1$ является большей из них) с эффективными степенями свободы ν_1 и ν_2 соответственно, используя уровень доверия α (например, для 95%-ного уровня доверия $\alpha = 0,05$), необходимо выполнить следующие действия:

вычислить $F = [u(y)_1 / u(y)_2]^2$;

найти по таблицам или получить с помощью программного обеспечения одностороннее верхнее критическое значение $F_{crit} = F(\alpha / 2, \nu_1, \nu_2)$. Если даны верхнее и нижнее значения, выбирают верхнее значение, которое всегда больше 1;

если $F > F_{crit}$, то $u(y)_1$ следует считать значительно больше, чем $u(y)_2$.

3.14.3 Причины различий

Существует много причин для существенного различия между суммарными оценками неопределенности. Они включают в себя следующее:

- подлинные различия в работе лабораторий;
- неудачную модель, не учитывающую влияние всех существенных воздействий на измерения;
- неверную оценку значимого вклада в неопределенность.

4. Записи.

4.1 Формы записей по результатам расчета и контроля неопределенности сохраняются в архиве ИЛ (ИЦ) в соответствии с требованиями РК испытательной лаборатории (центра).

4.2. Оценщик (эксперт) оценивает применение участниками системы и настоящей РИ на основании записей ИЛ (ИЦ), производящихся в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 (п.п. 7.5, 8.7.3).

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 26 из 34

5. Приложения.

Подходы к оценке неопределенности

A.1 Подход ГОСТ Р ИСО 21748-2021.

ГОСТ Р ИСО 21748-2021 «Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правдивости при оценке неопределенности измерений. Statistical methods. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty evaluation» устанавливает методологию оценки неопределенности измерений, связанную с результатом y в соответствии с моделью процесса измерений. Составляющие неопределенности можно оценивать либо на основе статистического анализа серии наблюдений (оценка типа А), либо другими средствами (оценка типа В), например, используя данные публикаций о неопределенности образцов сравнения или эталонов или, при необходимости, мнения специалистов. Отдельные составляющие выражают в виде стандартных отклонений и, при необходимости, затем объединяют.

Выполнение рекомендаций ГОСТ Р ИСО 21748-2021 начинается с модели измерений в виде функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$, связывающей результат измерений y со входными величинами x_i . Тогда в случае независимых входных величин GUM дает неопределенность $u(y)$ в соответствии с уравнением (A.1):

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1, N} c_i^2 u^2(x_i)}, \quad (\text{A.1})$$

где c_i - коэффициент чувствительности, оцениваемый в соответствии с уравнением $c_i = \partial y / \partial x_i$ (частная производная y по x_i);

$u(x_i)$ и $u(y)$ - стандартные неопределенности, то есть неопределенности измерений, выраженные в виде стандартных отклонений.

Если переменные не являются независимыми, выражение для неопределенности является более сложным и определяется уравнением:

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1, N} c_i^2 u^2(x_i) + \sum_{i, j=1, N} c_i c_j u(x_i, x_j)}, \quad (\text{A.2})$$

где $u(x_i, x_j)$ - ковариация между x_i и x_j ;

c_i и c_j - коэффициенты чувствительности, соответствующие уравнению (A.1). На практике часто ковариацию выражают через коэффициент корреляции r_{ij} :

$$u(x_i, x_j) = u(x_i)u(x_j)r_{ij}, \quad (\text{A.3})$$

где $-1 \leq r_{ij} \leq 1$.

В случаях, учитывающих нелинейность модели измерений, уравнение (A.1) расширяют, включая члены более высокого порядка. После вычисления комбинированной стандартной неопределенности с использованием уравнений (A.1)-(A.3) расширенную неопределенность определяют, умножая $u(y)$ на коэффициент

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 27 из 34

охвата k , который выбирают на основе числа степеней свободы для $u(y)$. Более подробно это описано в разделе 13.

В подходе GUM существует неявное предположение, что входные данные измерены или назначены. Если возникают воздействия, которые могут быть не определены через измеримые величины (например, воздействие оператора), удобно сформировать суммарную стандартную неопределенность $u(x_i)$, которая учитывает такие воздействия, или ввести дополнительные переменные в $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$.

Из-за ориентации на входные величины этот подход иногда называют восходящим походом оценки неопределенности.

Физическая интерпретация $u(y)$ не является однозначной, так как она может включать члены, полученные на основе экспертной оценки, и таким образом $u(y)$ лучше всего рассматривать как функцию, характеризующую степень доверия. Однако можно получить более прямую физическую интерпретацию, определив разброс результатов вычисления $u(y)$, который был бы получен, если бы все входные переменные изменялись случайным образом в соответствии с принятым для них распределением.

А.2 Принцип совместных исследований

А.2.1 Основная модель

Планирование эксперимента при совместных исследованиях, их организация и статистическая обработка подробно описаны в ИСО 5725-1 - ИСО 5725-6. Самая простая модель, лежащая в основе статистической обработки данных совместных исследований, задается уравнением:

$$y = m + B + e_T, \quad (\text{A.4})$$

где m - математическое ожидание y ;

B - лабораторная составляющая смещения в условиях повторяемости и предположения о нормальном распределении со средним 0 и стандартным отклонением σ_L ;

e_T - случайная ошибка в условиях повторяемости и предположения о нормальном распределении со средним 0 и стандартным отклонением σ_w .

Кроме того, предполагается, что B и e_T , некоррелированы.

Применение уравнения (А.1) к этой простой модели с учетом того, что σ_w определяется через стандартное отклонение повторяемости s_T , полученное при межлабораторном исследовании, приводит к уравнению (А.5) для единственного результата y и уравнению (А.6) для суммарной стандартной неопределенности результата $u(y)$:

$$u(B) = s_L \text{ и } u(e_T) = s_T, \quad (\text{A.5})$$

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 28 из 34

$$u(y)^2 = u(B)^2 + u^2(e_T) = u_L^2 + s_T^2. \quad (\text{A.6})$$

По сравнению с ИСО 5725-2 уравнение (A.6) представляет собой лишь оценку стандартного отклонения воспроизводимости s_R .

Так как этот подход ориентируется на полное выполнение метода, его называют иногда нисходящим подходом.

Следует учитывать, что каждая лаборатория вычисляет свою оценку по уравнению $y = f(x_1, x_2, \dots)$, предполагая ее наилучшей оценкой измеряемой величины y для лаборатории. Тогда, если $y = f(x_1, x_2, \dots)$ - общая модель, используемая для описания поведения измерительной системы, то, следовательно, при вычислении m предполагается, что дисперсии, характеризующиеся оценками s_L и s_T , являются результатом изменения величин x_1, \dots, x_n . Если предполагается, что условия воспроизводимости обеспечиваются для случайной величины при всех существенных воздействиях и применяется физическая интерпретация $u(y)$, приведенная выше, то из этого следует, что $u(y)$ в уравнении (A.6) является оценкой $u(y)$, описанной уравнениями (A.1) или (A.2).

Первый принцип, на котором основаны настоящие рекомендации, состоит в том, что стандартное отклонение воспроизводимости, полученное в совместном исследовании, является основой для оценки неопределенности измерений.

A.2.2 Включение данных правильности

Правильность в общем случае измеряется смещением относительно принятого опорного значения. В некоторых совместных исследованиях правильность метода в конкретной системе измерений (обычно СИ) исследуют путем анализа образца сравнения (CRM) или эталона единицы физической величины с сертифицированным значением μ , выраженным в единицах этой системы (ИСО 5725-4). Итоговая статистическая модель определяется уравнением:

$$y = \mu + \delta + B + e, \quad (\text{A.7})$$

где μ - эталонное значение;

δ - смещение метода.

Совместное исследование может дать смещение δ со стандартным отклонением s_{δ}^{\wedge} , рассчитанным в соответствии с уравнением:

$$s_{\delta}^{\wedge} = \sqrt{\frac{s_R^2 - (1 - 1/n)s_T^2}{p}}, \quad (\text{A.8})$$

где n - количество повторений в каждой лаборатории;

p - количество лабораторий.

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 29 из 34

Неопределенность $u(\hat{\delta})$, соответствующая этому смещению, задается уравнением:

$$u^2(\hat{\delta}) = s_{\hat{\delta}}^2 + u^2(\hat{\mu}), \quad (\text{A.9})$$

где $u(\hat{\mu})$ - неопределенность, соответствующая сертифицированному значению $\hat{\mu}$, используемому для оценки правильности при совместном исследовании.

Если смещение, оцененное в процессе испытаний, используют при вычислении результатов в лабораториях, соответствующая ему неопределенность, если она не является незначительной, должна включаться в бюджет неопределенности.

А.2.3 Другие воздействия. Объединенная модель

На практике, конечно, s_R и $u(\hat{\delta})$ не обязательно включают в себя все изменения, влияющие на результаты измерений. Отсутствие некоторых важных факторов вызвано характером совместных исследований; некоторые факторы могут отсутствовать или не оцениваться случайно или в соответствии с планом эксперимента. Второй принцип, на котором основаны настоящие рекомендации, состоит в том, что воздействия, не наблюдаемые в процессе совместного исследования, или являются незначительными, или должны быть учтены.

Проще всего учесть эти воздействия, рассматривая воздействие отклонений x'_i от номинальных значений x_i , необходимых для получения оценки y , и предполагая приближенную линейность этих воздействий. Объединенная модель описывается уравнением:

$$y = \mu + \delta + B + \sum c_i x'_i + e. \quad (\text{A.10})$$

Суммирование ведется по всем воздействиям, кроме представленных в B , δ , e .

Примеры включают в себя воздействие отбора выборки, подготовки испытаний объекта и изменения состава или типа отдельных объектов испытаний. В строгом смысле это линеаризованная форма самой общей модели. При необходимости можно включать в нее члены более высокого порядка или члены, учитывающие корреляцию.

Очевидно, что центрирование x'_i не оказывает влияния на $u(x_i)$, так что $u(x'_i) = u(x_i)$, из чего следует, что для оценки неопределенности, соответствующей y , можно использовать уравнение (A.10) и следующее уравнение:

$$u^2(y) = s_L^2 + s_Y^2 + u^2(\hat{\mu}) + \sum c_i^2 u^2(x_i). \quad (\text{A.11})$$

Суммирование ведется по воздействиям, не учтенным в других членах уравнения.

Следует отметить, что при оценке выполнения метода условия промежуточной

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 30 из 34

прецизионности также могут быть описаны уравнением (A.10), хотя число членов суммы соответственно будет больше, поскольку по сравнению с условиями воспроизводимости в промежуточных условиях меньшее количество переменных будет меняться случайным образом. В общем случае уравнение (A.10) можно применять к любым условиям прецизионности, учитывая, что воздействия суммируются. В предельном случае, когда ε_r и ε_L равны нулю, а неопределенность общего смещения не определена, уравнение (A.11) становится идентичным уравнению (A.1).

Из этого следует два вывода:

- во-первых, необходимо продемонстрировать, что количественные данные, доступные для совместного исследования, согласуются с рассматриваемыми результатами испытаний;

- во-вторых, даже при согласованности данных совместного исследования для определения реальной оценки неопределенности с учетом дополнительных воздействий (x_i в уравнении (A.10)) могут быть необходимы дополнительные исследования и предположения. При учете дополнительных воздействий предполагается применение уравнения (A.1).

И, наконец, настоящие рекомендации, утверждая, что надежную оценку неопределенности измерений можно получать на основе анализа данных воспроизводимости и правильности, полученных в соответствии с ИСО 5725-1 - ИСО 5725-6, используют те же самые предположения, что и изложенные в перечисленных стандартах:

- а) если используются данные воспроизводимости, предполагается, что все лаборатории подобны по выполнению работ. В частности, их прецизионность повторяемости для данного объекта испытаний одинакова, а лабораторная составляющая смещения b в уравнении (A.10) соответствует тому же распределению, что и при совместных исследованиях;

- б) испытываемые материалы, используемые в исследовании, являются гомогенными и стабильными.

Следующие разделы включают методологию проверки того, что дополнительные воздействия являются незначительными, а если это не так, их неопределенности учтены в оценке неопределенности результата.

A.3 Сопоставление подходов

Приведенные рассуждения описывают два очевидно различных подхода к оценке неопределенности. Подход ГОСТ Р ИСО 21748-2021 описывает неопределенность в виде дисперсии, полученной на основе дисперсий соответствующих входных данных математической модели. Другой подход использует факт, что если одни и те же воздействия заметно изменяются в процессе исследования воспроизводимости, наблюдаемая дисперсия является оценкой той же самой неопределенности. На практике значения неопределенности, полученные на

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 31 из 34

основе различных подходов, различны для разных целей, включая:

а) неполные математические модели (то есть при наличии неизвестных воздействий);

б) неполное или несущественное изменение всех воздействующих факторов в процессе оценки воспроизводимости.

Сравнение двух различных оценок, безусловно, полезно для оценки полноты модели измерений. Однако следует обратить внимание, что наблюдаемую повторяемость или другую оценку прецизионности очень часто рассматривают как отдельную составляющую неопределенности. Точно так же индивидуальные воздействия обычно проверяют на их значимость или оценивают количественно до оценки воспроизводимости. На практике для оценки неопределенности часто используют некоторые элементы обоих подходов.

Когда оценка неопределенности для интерпретации сопровождается результатами, важно, чтобы пробелы в каждом подходе были заполнены. Возможности неполных моделей на практике обычно дополняют консервативными оценками, позволяющими расширять ограничения для неопределенности модели. В настоящих рекомендациях для устранения неадекватных изменений входных воздействий рекомендуется определять оценки дополнительных воздействий. Это является гибридным подходом, объединяя элементы и нисходящего, и восходящего подходов.

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 32 из 34

Приложение В (справочное)

Экспериментальная оценка неопределенности

В.1 Процедура оценки коэффициента чувствительности

Если входные величины x_i могут изменяться непрерывно по всему диапазону значений, рекомендуется исследовать воздействие таких изменений. Простая процедура, предполагающая приблизительно линейную зависимость результатов от x_i , следующая:

- а) выбирают подходящий диапазон изменения переменной x_i , который должен быть ориентирован на лучшую оценку (или на значение, характерное для указанного метода);
- б) выполняют всю процедуру измерений (или ту часть, которая касается x_i) в каждом из пяти или более уровней x_i с повторением при необходимости;
- в) рассчитывают и изображают линейную модель в соответствии с результатами, используя x_i в качестве абсциссы, а результат измерений в качестве ординаты;
- г) коэффициентом чувствительности является наклон прямой, характеризуемый коэффициентом c_i в уравнениях (А.1) или (А.12).

Этот подход может дать различные коэффициенты чувствительности для различных объектов испытаний. Это может быть преимуществом во всесторонних исследованиях конкретного объекта или класса объектов. Однако если коэффициент чувствительности должен быть применен к большому диапазону различных ситуаций, важно проверять, чтобы различные объекты вели себя аналогично.

В.2 Простая процедура оценки неопределенности, вызванной случайным воздействием

Если входные величины x_j являются дискретными и/или неконтролируемыми, соответствующую неопределенность можно получать на основе анализа экспериментов, в которых переменная изменяется случайным образом. Например, тип почвы в экологических исследованиях может иметь непредсказуемое воздействие на результаты анализа. Если случайные ошибки не зависят от уровня исследуемой величины, можно исследовать дисперсию ошибки, являющейся результатом таких изменений, используя серию объектов, для которых заданное значение или доступно, или, если изменение известно, может быть выведено теоретически.

Общая процедура включает в себя:

- а) выполнение полного измерения на представительном наборе объектов испытаний в условиях повторяемости, используя равное количество повторений для каждого объекта;
- б) вычисление разности с заданным значением для каждого наблюдения;
- в) проведение анализа результатов (ранжированных по величине) в соответствии

	Общество с ограниченной ответственностью «Добровольная система аккредитации, аттестации и подтверждения соответствия»	
	Рекомендации для расчета неопределенности измерений	РИ 04.01.2024
		Редакция 1 Страница 33 из 34

с ANOVA с использованием суммы квадратов для формирования оценок внутригрупповой составляющей дисперсии s_w^2 и межгрупповой составляющей дисперсии s_b^2 . Стандартная неопределенность $u_y(x_i)$, являющаяся результатом изменения x_j , равна s_b .

Примечание - Если различные объекты или классы объектов по-разному реагируют на исследуемую величину (то есть существует взаимосвязь величины и класса исследуемых объектов), взаимодействие увеличивает значение s_b . Детальное исследование этой ситуации в настоящих рекомендациях не приводится.

