

Выполнение достоверных трехмерных измерений Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям



Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA
с использованием
экспериментальной
методологии и программного
обеспечения для
интеллектуальной
трехмерной метрологии

- Анализ повторяемости
- Анализы Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Выполнение достоверных трехмерных измерений

Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Компании-производители каждый день контролируют качество своей продукции путем измерения размеров изделий и сбора соответствующих данных. Эти данные используются для исследования стабильности производственного процесса, определения способности процесса обеспечивать качество и функциональность деталей, а также установления индексов для количественной оценки способности процесса соответствовать требованиям к размерам. Все это — часть непрерывного процесса совершенствования рабочих процессов.

При внедрении нового производственного процесса могут возникнуть проблемы с его стабильностью без возможности точно определить причину и устранить ее. Эти проблемы в некоторых случаях связаны не с производственным процессом, а с самой измерительной системой.

Метрологи знают, что измерения всегда содержат некоторую погрешность. На работу измерительной системы влияет множество источников изменчивости, которые приводят к неопределенности измерений. Выполняя анализ измерительной системы (MSA) с помощью анализа повторяемости и воспроизводимости (Gauge R&R), можно оценить изменчивость измерительной системы. Эти виды анализов позволяют метрологам оценить достоверность измерительной системы и свести к минимуму факторы, влияющие на полную изменчивость измеряемого процесса, которые непосредственно связаны с измерительной системой.

Анализ MSA может быть довольно сложным в настройке и выполнении, особенно в контексте трехмерной метрологии, и требует обширных знаний статистики для получения данных, на которые действительно можно было бы опираться в дальнейшей работе.

Задачи настоящего технического документа:

- объяснить ключевые концепции анализа измерительных систем и их практическое применение в работе с трехмерными измерительными приборами;
- рассмотреть полностью цифровой процесс от настройки и выполнения анализа повторяемости и Gauge R&R до получения результатов непосредственно в Excel для последующего анализа и передачи данных;
- предоставить метрологам рекомендаций по интерпретации результатов таких анализов.



Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализы Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

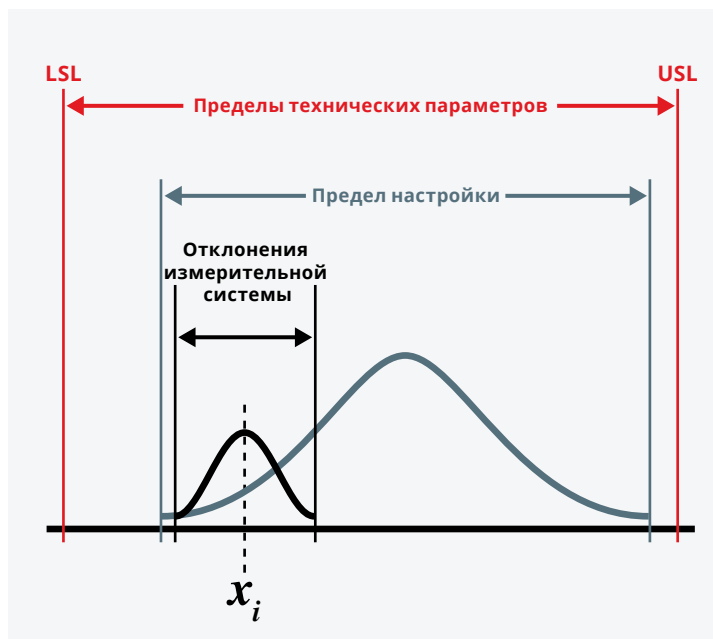
Заключение

Общее представление о MSA

Давайте рассмотрим решающую роль MSA во всем процессе контроля деталей. Во время этого процесса метрологи измеряют ключевые характеристики, такие как размер, габариты, положение, контуры и ориентация, чтобы определить их отклонение от номинальных технических характеристик. Следуя плану контроля, они оценивают параметры детали на соответствие техническим спецификациям на основании значений допусков и требований. Каждое измерение характеризуется двумя основными компонентами: один представляет фактическое отклонение (т. е. действительное значение), а другой отражает изменчивость измерительной системы. Чтобы убедиться, что их измерительная система предоставляет надежные и достоверные данные для выполнения поставленной задачи, метрологам необходимо определить амплитуду изменчивости измерительной системы и убедиться, что она составляет не более 10–30 % от предельных технических параметров. Изменчивость или эффективность измерительной системы должны быть пропорционально малы, чтобы не вносить существенный вклад в полную изменчивость измеряемого процесса, учитывая как изменчивость производственного процесса, так и измерительной системы, и не «выталкивать» процесс за пределы технических параметров (LSL,USL) и допуски, предусмотренные технической спецификацией.

Рисунок 1
Эффективность измерительной системы в отношении полной изменчивости процесса

На рис. 1 показано такое взаимодействие, при котором эффективность измерительной системы и измеряемые величины (x_i) вносят относительно дискретный и предсказуемый вклад в измеряемую изменчивость процесса. Эта изменчивость получена на основании результатов измерений деталей, поступающих с производственной линии, с использованием методов статистического управления процессами (SPC). Обычно контрольные пределы рассчитываются с использованием этих данных. Другими словами, эффективность измерительной системы влияет на результаты полной измеренной изменчивости процесса, а автоматизированный анализ измерительной системы помогает определить эту эффективность.



Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

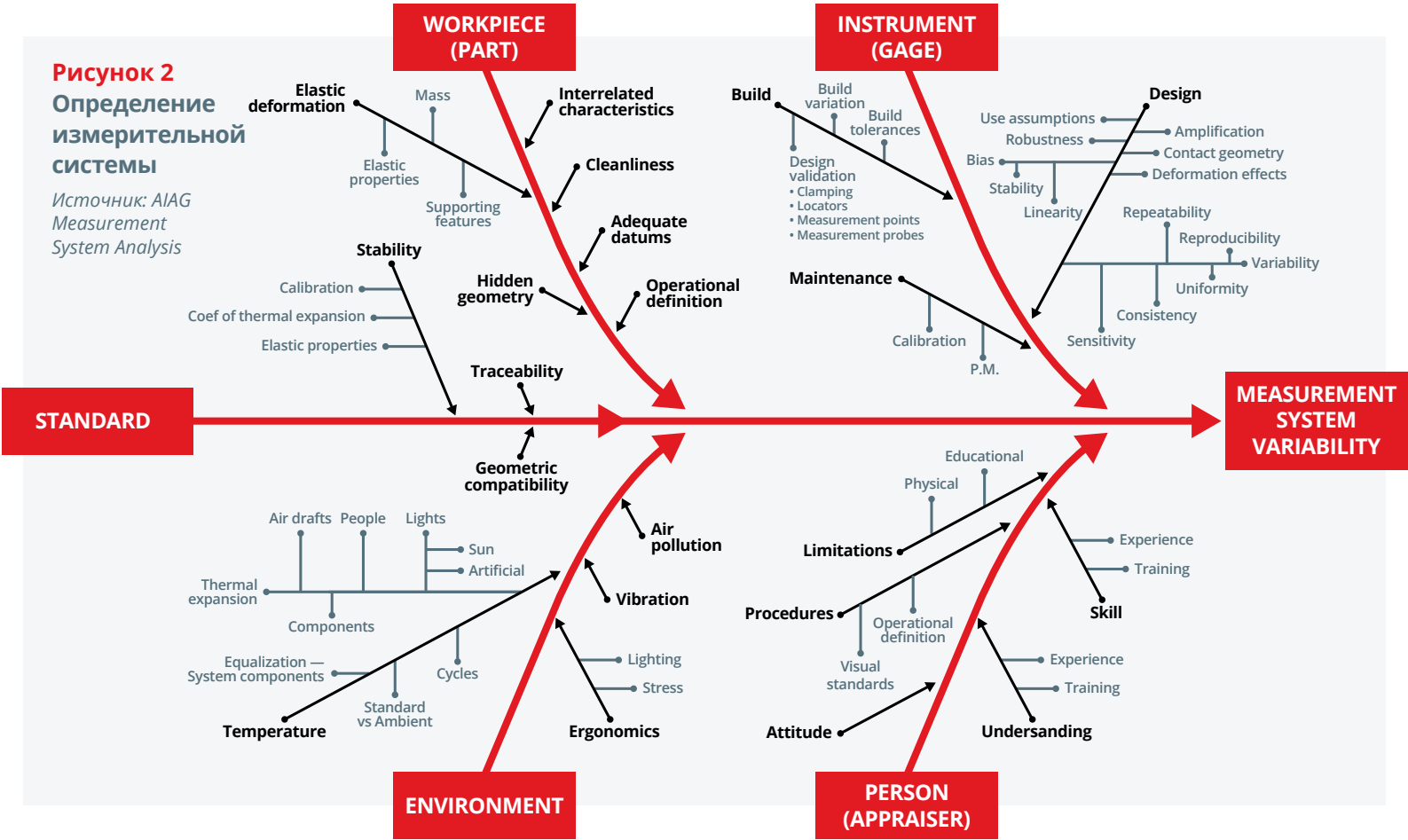
Заключение

Определение измерительной системы

Перед определением эффективности измерительной системы очень важно определить все потенциальные источники изменчивости, которые могут повлиять на процесс измерения ключевых характеристик.

Ассоциация по стандартизации в автотракторной промышленности (AIAG) указывает, что измерительная система состоит из «набора инструментов или приборов, стандартов, операций, методов, фиксаторов, программного обеспечения,

программного обеспечения, персонала, рабочей среды и допущений, используемых для количественного определения измеряемой величины или оценки измеряемой характеристики; совокупный процесс, используемый для получения измерений». Анализ MSA должен учитывать все эти факторы, как показано на рис. 2, поскольку они влияют на общую неопределенность измерительной системы.



Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление
о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей
методологии для оценки
неопределенности
сложных трехмерных
измерительных систем

Проведение анализа MSA
с использованием
экспериментальной
методологии и программного
обеспечения для
интеллектуальной
трехмерной метрологии

- Анализ повторяемости
- Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Показатели эффективности измерительной системы

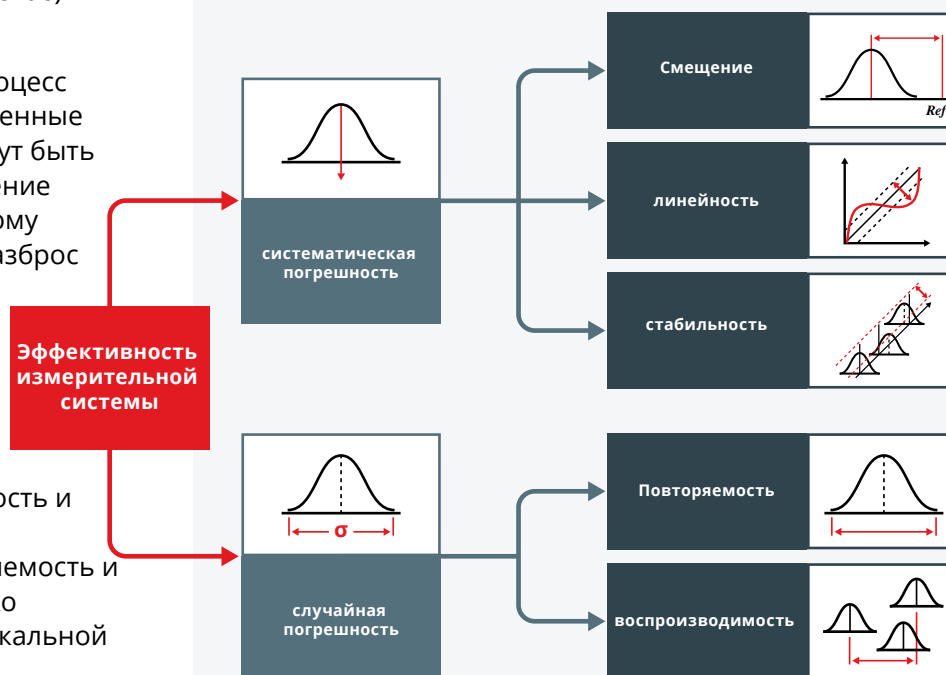
Эффективность измерительной системы определяется с помощью показателей, которые классифицируют и количественно определяют неопределенность измерения. Собирая данные о процессе, метролог может количественно оценить общую изменчивость измерений, определив связанное с ней конкретное поведение. Обычно это поведение описывается как случайная величина (RV) с нормальным распределением (распределение Гаусса). На рис. 3 данная концепция показана с помощью черной кривой, представляющей собранные данные, т. е. измеренные значения, полученные в процессе измерения, и их распределение, определяемое параметрами местоположения (*среднее значение*) и ширины (*стандартное отклонение*).

Множественные факторы, влияющие на процесс измерения, представляют собой многочисленные источники неопределенности, которые могут быть либо систематическими (например, отношение среднего значения измерения к фактическому значению), либо случайными (например, разброс измерений). Эти неопределенности можно классифицировать в зависимости от того, какое влияние они оказывают на идентифицированные параметры распределения. Как показано на рис. 4, неопределенность типа Б (систематическая погрешность) включает смещение, линейность и стабильность, а неопределенность типа А (случайная погрешность) включает повторяемость и воспроизводимость. Каждая категория четко идентифицируется на основании своей уникальной модели распределения.

Рисунок 3
Распределение Гаусса



Рисунок 4
Показатели эффективности



Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа Б
- Неопределенность типа А

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

• Неопределенность типа Б (систематическая погрешность)

Неопределенность типа Б — это погрешность измерения, тесно связанная с положением нормального распределения относительно известного эталона. Математически это влияет на среднее значение измеренных данных. В качестве общего термина для данного вида неопределенности используется термин систематическая ошибка. Систематическая ошибка представляет собой точность соответствия среднего значения одного или нескольких измеренных результатов эталонному значению. Систематическая ошибка, как правило, воспроизводима и часто возникает из-за проблем, которые можно количественно определить и исправить. Существует три вида неопределенности типа Б (систематической погрешности): смещение, линейность и стабильность, причем смещение является наиболее распространенным. Смещение представляет собой расстояние между средним значением одного или нескольких результатов измерений ($\bar{x}$) и эталонным значением (*Эталон*). Математически смещение равно разнице между истинным значением (значением *Эталон*) и наблюдаемым средним значением измерений той же характеристики на той же детали. *Линейность*, в свою очередь, показывает, насколько хорошо данные, собранные во всему диапазону измерений прибора, соответствуют эталонному значению. Это разница в смещении по всему предполагаемому диапазону измерений устройства. *Линейность* представляет собой изменение смещения от одного предела диапазона измерений к другому. Последним видом неопределенности типа Б является *стабильность*. Она представляет собой способность измерительной системы поддерживать свои метрологические возможности с течением времени. *Стабильность* описывает изменение смещения во времени, обычно это время между двумя калибровками системы.

• Неопределенность типа А (случайная погрешность)

Вторым (и последним) источником неопределенности измерения является случайная погрешность, т. е. неопределенность типа А, обычно называемая случайной ошибкой. Случайная ошибка представляет собой статистические колебания измеренных данных из-за ограничений измерительной системы. Случайная ошибка описывает ожидаемую изменчивость повторных измерений в диапазоне измерений. Двумя видами неопределенности типа А являются повторяемость и воспроизводимость. *Повторяемость* представляет собой ширину дисперсии измерений, полученных в строго контролируемых условиях. Она описывает способность системы получать одинаковые результаты измерений при неизменности оборудования, детали, шаблона и условий окружающей среды. Узкое распределение указывает на более высокую воспроизводимость измерения. *Воспроизводимость* представляет собой разницу между результатами измерений, выполненных разными операторами на одном и том же оборудовании и в одних и тех же условиях. Математически она равна изменению среднего значения показаний, снятых каждым из операторов.



Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа Б
- Неопределенность типа А

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Возможности и эффективность измерительной системы

Возможности измерительной системы ($\sigma_{\text{возможности}}$) также называемые *суммарной стандартной неопределенностью*, представляют собой комбинацию всех неопределенностей типа А и Б. Они количественно определяют сомнения в результатах измерения в известных условиях и используются для краткосрочного определения суммарной неопределенности измерительной системы. Возможности системы можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_{\text{возможности}}^2 = \sigma_{\text{Смещение (линейность)}}^2 + \sigma_{R\&R}^2$$

Эффективность, с другой стороны, учитывает не только источники системных и случайных вариаций, но и источники возникающего с течением времени дрейфа показаний. Она рассчитывается по формуле:

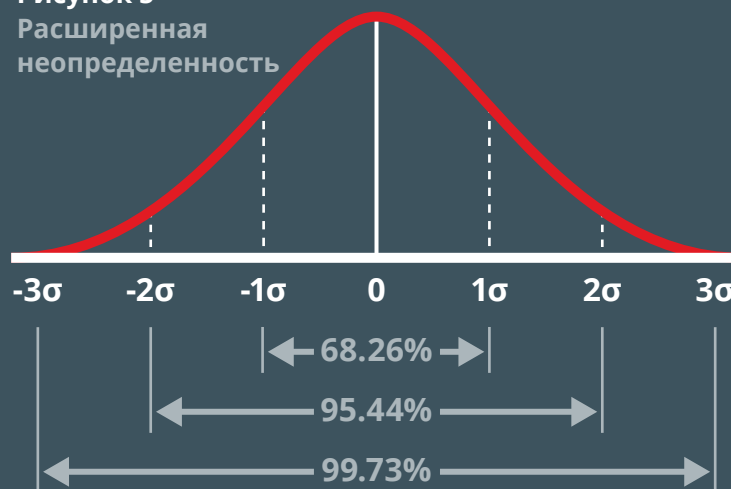
$$\sigma_{\text{эффективность}}^2 = \sigma_{\text{возможности}}^2 + \sigma_{\text{стабильность}}^2$$

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

На заключительном этапе процесса анализа измерительной системы вычисляется *расширенная неопределенность* (U) измерительной системы. Расширенная неопределенность представляет собой общее значение неопределенности измерения, которое описывает, в пределах определенного уровня достоверности, диапазон, который, как ожидается, будет содержать реальный результат измерения, полученный системой. Она может быть выражена как:

$U = \pm K \sigma_{\text{сум}}$ где U — расширенная неопределенность; K — коэффициент охвата, представляющий площадь под нормальной кривой для желаемого уровня достоверности (например, $K = 3$ для уровня достоверности 99.73%), и $\sigma_{\text{сум}}$ — суммарная стандартная неопределенность измерительной системы, которая обычно соответствует ее эффективности. Наиболее часто используемые показатели достоверности при анализе измерительной системы показаны на рисунке ниже.

Рисунок 5
Расширенная неопределенность



Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа Б
- Неопределенность типа А

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

- Анализ повторяемости
- Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Чтобы оценить неопределенность измерения, производимого системой, сначала необходимо определить ее модель измерения. Эта модель отражает математическое представление взаимосвязи между выходной величиной измерительной системы и входными величинами процесса измерения, известными для нас. Существует два типа измерения: прямое и косвенное. Тип измерения влияет на способ определения модели. Прямое измерение — это когда измерительное устройство получает выходное значение непосредственно. Например, внешний диаметр (Y) измеряется с помощью микрометра, который непосредственно определяет физическую величину X . В этом случае модель измерения (т. е. функция) идентифицируется как $Y=X$. Однако большинство устройств для трехмерных измерений выполняют косвенные измерения. Они не могут непосредственно получить значение величины (Y), а скорее оценивают функцию нескольких (n) физических величин (X_i), $Y=f(X_1, \dots, X_n)$. Например, портативная КИМ для получения определенного результата использует положение и ориентацию нескольких датчиков. На все эти физические значения (в данном примере — положение и ориентация датчиков), используемые для расчета выходной величины, влияет определенная неопределенность измерения (u_{x_i}). Таким образом, результат измерения, полученный с помощью «руки» КИМ (Y), зависит от набора значений (X_i) и соответствующих неопределенностей (u_{x_i}), используемых для его оценки. В конечном счете измеренное значение (Y) также имеет суммарную неопределенность (u_y).

Если модель, представляющая систему измерения, сформулирована конкретно и однозначно, ее можно использовать для переноса неопределенностей от входных величин к выходным величинам с использованием двух стратегий: ряда Тейлора или моделирования методом Монте-Карло. Эти стратегии подробно рассматриваются в таких публикациях, как [*Руководство по выражению неопределенности измерений* \(GUM\)](#)¹. С другой стороны, **если модель слишком сложна, чтобы ее можно было сформулировать конкретно и однозначно, или если параметры неизвестны, следует использовать экспериментальную стратегию.** Суммарную неопределенность системы измерения можно определить через анализ выходной величины с помощью статистических инструментов. Например, в ситуации, когда метролог использует портативную КИМ со сканером для измерения контура поверхности, определить функцию измерения гораздо сложнее. В этом случае необходимо использовать экспериментальный анализ. Поскольку это делается непосредственно на основании результатов измерения, метрологу не нужно разбирать всю измерительную систему, чтобы сделать ее более простой и понятной.

¹ Оценка данных измерений — Руководство по выражению неопределенности измерений (JCGM 100:2008) опубликованное Международным бюро мер и весов.

Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Выполнение экспериментального анализа для определения расширенной неопределенности сложных трехмерных измерительных систем требует предварительного проведения анализа воспроизводимости, а затем полного исследования R&R (анализа повторяемости и воспроизводимости). Сводя воедино данные о результатах измерения системы с использованием различных настроек и испытаний, метролог может оценить суммарную изменчивость с использованием описанных выше показателей эффективности. Но такие анализы традиционно сложны для выполнения и требуют обширных знаний статистики для получения результатов нужного качества.

Рисунок 6
PolyWorks MSA панель инструментов



PolyWorks® предлагает интегрированное программное MSA-решение для интеллектуальной трехмерной метрологии для проведения исследований сложных систем трехмерных измерений в рамках полностью цифрового процесса (рис. 6). Оно позволяет пользователям:

- 1 задавать ключевые характеристики, требуемые планом контроля;
- 2 создавать анализ, выбрав его тип и определив ключевые параметры, необходимые для контроля качества и прослеживаемости;
- 3 с помощью всего одной универсальной программной платформы выполнять анализ через сбор данных по всем конфигурациям устройств трехмерных измерений и по всем контекстам измерений;
- 4 создавать информативные отчеты непосредственно в Microsoft Excel с уже отформатированными электронными таблицами, связанными с интеллектуальными трехмерными контрольными данными;
- 5 выполнять сложные анализы в Excel без обширных знаний в области статистических приложений.

Решение PolyWorks MSA гарантирует, что все расчеты выполняются в рамках одной программной экосистемы, а полностью цифровой тракт обеспечивает целостность данных и достоверные результаты, начиная от настройки анализов и заканчивая получением измерений и автоматической генерацией результатов, такими как коэффициенты и диаграммы.

Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализы Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Анализ повторяемости



Первым шагом в анализе измерительной системы является проведение анализа ее повторяемости. Он оценивает изменчивость измерительных систем (изменчивость показаний оборудования) при воздействии минимального количества источников изменчивости.

Такой анализ используется во время первоначальной оценки измерительной системы для быстрого сравнения различных конфигураций системы, таких как места фиксации зажима и параметры метрологического оборудования.

Анализ повторяемости проводят следующим образом:

- 1 - размещают деталь в фиксаторе (если применимо);
- 2 - измеряют деталь с помощью прибора для трехмерного измерения;
- 3 - вынимают деталь из фиксатора;
- 4 - повторяют шагов с первого по третий, при этом используя одну и ту же деталь, фиксатор и измерительный прибор.

Используя план контроля, метролог определяет ключевые характеристики, по которым необходимо провести статистический анализ. Деталь измеряют минимум 10 раз, но обычно не менее 30 раз, чтобы точно оценить изменчивость оборудования. Этот вид анализа обычно проводит старший метролог, обладающий необходимым опытом, который может быстро выявить проблемы в процессе измерения и легко их решить.

Существует два типа анализа повторяемости:

Анализ повторяемости типа 1²:

- Оценивает влияние смещения и повторяемости на измерения.
- Требуется аттестованный эталонный образец известных размеров.
- На выходе дает две метрики: Cg и Cgk.
- Применяется, когда аттестованный эталонный образец доступен и стабильность измерительной системы не вызывают вопросов.

Исследование воспроизводимости измерений³:

- Оценивает воспроизводимость и стабильность измерительной системы.
- Аттестованный эталонный образец не требуется.
- В качестве основы для оценки изменчивости и стабильности используется диаграмма I-MR (контрольная карта индивидуальных значений и скользящего размаха).

Основное различие между ними заключается в том, что для анализа типа 1 требуется аттестованный эталонный образец, в результате чего определяется возможное смещение, но не оценивается стабильность измерительной системы.

Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализы Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

² Требования к анализу измерительных систем в цепочке поставок авиационных двигателей (AS13003), опубликованные SAE International (Общество автомобильных инженеров).

³ Анализ измерительных систем (MSA), опубликованный Ассоциацией по стандартизации в автотракторной промышленности (AIAG).

Оба анализа воспроизводимости облегчаются использованием решения PolyWorks MSA:

- 1 - Метролог шаг за шагом следует необходимым этапам анализа, начиная с создания проекта контрольной проверки, в котором указаны все необходимые измерения, их характеристики, средства контроля и выходные показатели, а также количество изделий, подлежащих измерению, что обеспечивает наличие шаблона, гарантирующего надежные измерения.
- 2 - Затем операторы на протяжении всего измерения руководствуются инструкциями и трехмерными индикаторами, отображаемыми на экране.
- 3 - После завершения процесса измерения результаты контроля автоматически публикуются в предварительно отформатированных электронных таблицах Excel, которые динамически связаны с трехмерными контрольными данными из проекта проверки.
- 4 - Предварительно отформатированные электронные таблицы предоставляют метрологу информацию об автоматически рассчитанной и готовой к анализу изменчивости оборудования, т. е. повторяемость, показатели эффективности системы и диаграммы.
- 5 - Чтобы завершить этот анализ и быстро оптимизировать процесс измерения, метролог может настроить параметры измерения в проекте проверки и увидеть их прямое влияние на изменчивость оборудования, при этом PolyWorks автоматически обновляет коэффициент в электронной таблице и значения диаграммы.

Анализы Gauge R&R

В то время как анализы повторяемости позволяют анализировать и оптимизировать изменчивость оборудования измерительной системы, анализы повторяемости и воспроизводимости (также называются анализами Gauge R&R) необходимы для завершения окончательной валидации измерительной системы.

Анализы Gauge R&R обычно выполняются после анализов повторяемости, поскольку они требуют больше ресурсов, деталей и затрат. Кроме того, выполнив сначала анализ повторяемости, метролог может скорректировать изменчивость оборудования перед тем, как анализировать и корректировать его воспроизводимость. Существует несколько общепринятых эмпирических методов для оценки неопределенности повторяемости и воспроизводимости измерительной системы. Двумя наиболее распространенными методами являются *метод контрольных карт* (среднее значение и диапазон) ($\bar{X}$ -R) и *метод дисперсионного анализа* (ANOVA). В обоих случаях для обеспечения достоверных результатов сбор данных осуществляется по строгим правилам:

- **Количество операторов:** требуется минимум три оператора, и они должны использовать измерительную систему в производственном контексте.
- **Количество деталей:** должны быть выбраны как минимум две детали, содержащие в себе вариации, встречающиеся в производственном процессе. Если возможно, предпочтительным числом будет 10; чем больше количество частей, тем лучше оценка поведения процесса.
- **Количество повторений:** каждый оператор должен измерять все детали более одного раза. Обычно делают 2–3 повторных измерения.
- **Случайный порядок измерений:** чтобы порядок измерения не влиял на результаты, каждый оператор должен измерять детали в произвольном порядке.

Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей
методологии для оценки
неопределенности
сложных трехмерных
измерительных систем

Проведение анализа MSA
с использованием
экспериментальной
методологии и программного
обеспечения для
интеллектуальной
трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализы Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Решение PolyWorks MSA позволяет пользователям создавать и выполнять полный анализ Gauge R&R, используя эти два стандартных метода:

- 1 - Метролог быстро выбирает метод анализа и указывает такие параметры, как количество операторов, повторений и деталей.
- 2 - Затем PolyWorks создает проект проверки со всеми необходимыми элементами для выполнения в определенном порядке.
- 3 - Затем таблица с последовательностью выполнения автоматически экспортируется в электронную таблицу Excel, которая помогает операторам в процессе сбора измерений, обеспечивая случайный порядок измерений.
- 4 - Панель инструментов помогает операторам ориентироваться в процессе проверки, обеспечивая измерение всех ключевых характеристик и получение достаточного количества данных зондирования и сканирования для получения достоверных результатов измерений.
- 5 - По завершении измерения метролог использует проект проверки для оценки изменчивости измерительной системы.

Основное различие между методологиями X-bar R и ANOVA заключается в анализе результатов. Метод X-bar R позволяет количественно оценить повторяемость и воспроизводимость с помощью расчетов в контрольной карте. Руководство «Анализ измерительных систем», опубликованный AIAG, подробно описывает данную методологию. Анализ Gauge R&R по методу ANOVA предоставляет больше информации и, следовательно, является более полным.

Дисперсионный анализ (ANOVA)— это статистический анализ, который разделяет источники изменчивости в измерительной системе на следующие категории.

- **Повторяемость:** отклонение от измерительной системы, не связанное с другими источниками отклонения.
- **Оператор:** разница между операторами.
- **Взаимодействие деталь— оператор:** изменчивость, возникающая в результате взаимодействия между оператором и деталями (когда оператор измеряет разные детали по-разному).
- **Взаимодействие деталь— деталь:** изменчивость, связанная с самими деталями, подлежащими анализу. Она представляет собой изменчивость производственного процесса.

Независимо от используемого метода, источники изменчивости считаются статистически независимыми. Поэтому они собираются на случайной основе (сумма дисперсий) для выражения суммарной неопределенности.

Во-первых, методология определяет, является ли значительной изменчивость, возникающая в результате взаимодействия между деталями и операторами. Если это так, то это необходимо учитывать в общей воспроизводимости системы (**$\sigma_{\text{воспроизводимость}}$**) следующим образом.

$$\sigma_{\text{воспроизводимость}}^2 = \sigma_{\text{оператор}}^2 + \sigma_{\text{взаимодействие}}^2$$

Когда повторяемость (**$\sigma_{\text{повторяемость}}$**) была явно рассчитана в процессе анализа, повторяемость и воспроизводимость (**$\sigma_{R\&R}$**) измерительной системы можно определить следующим образом.

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{\text{воспроизводимость}}^2 + \sigma_{\text{повторяемость}}^2$$

Выполнение достоверных трехмерных измерений | Интеллектуальный трехмерный подход к метрологическим измерениям

Общее представление о MSA

Определение измерительной системы

Показатели эффективности измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность измерительной системы

Расширенная неопределенность (доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA с использованием экспериментальной методологии и программного обеспечения для интеллектуальной трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализы Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Наконец, суммарная измеренная изменчивость процесса ($\sigma_{\text{всего}}$) получается путем добавления повторяемости и воспроизводимости измерительной системы измерения к расчетной изменчивости производственного процесса ($\sigma_{\text{деталь — деталь}}$) следующим образом.

$$\sigma_{\text{всего}}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{\text{деталь — деталь}}^2$$

Анализ результатов исследования заключается в следующем.

- В обеспечении того, чтобы неопределенность измерительной системы ($\sigma_{R\&R}$) вносила незначительный вклад в общую измеряемую изменчивость процесса. Предполагаемая изменчивость производственного процесса (разница между деталями) должна учитывать большую часть изменчивости. Когда пропорция изменчивости процесса (разница между деталями) относительно выше, чем остальная неопределенность, это означает, что измерительная система может достоверно выявлять производственные ошибки.

- Сравнение изменчивости измерительной системы с пределами спецификации (допусками), чтобы убедиться, что изменчивость составляет не более 30 % от пределовfi.

На этапе публикации в решении PolyWorks MSA данные анализа MSA преобразуются в интерпретируемые результаты и данные, которые можно использовать в дальнейшей работе, отображаемые в виде удобных для чтения таблиц, сводок и диаграмм, как показано на рис. 7. Это мощная и важная часть процесса цифрового анализа, поскольку она значительно облегчает интерпретацию результатов исследования и устранение неполадок. Это позволяет пользователям публиковать результаты в выбранном шаблоне Excel (контрольная карта X-bar R или ANOVA) и быстро анализировать погрешность измерения и другие источники изменчивости. Например, при проведении исследования ANOVA метролог может разбить дисперсию на четыре категории: детали, операторы, взаимодействие между деталями и операторами и ошибка воспроизведения, связанная с датчиком.

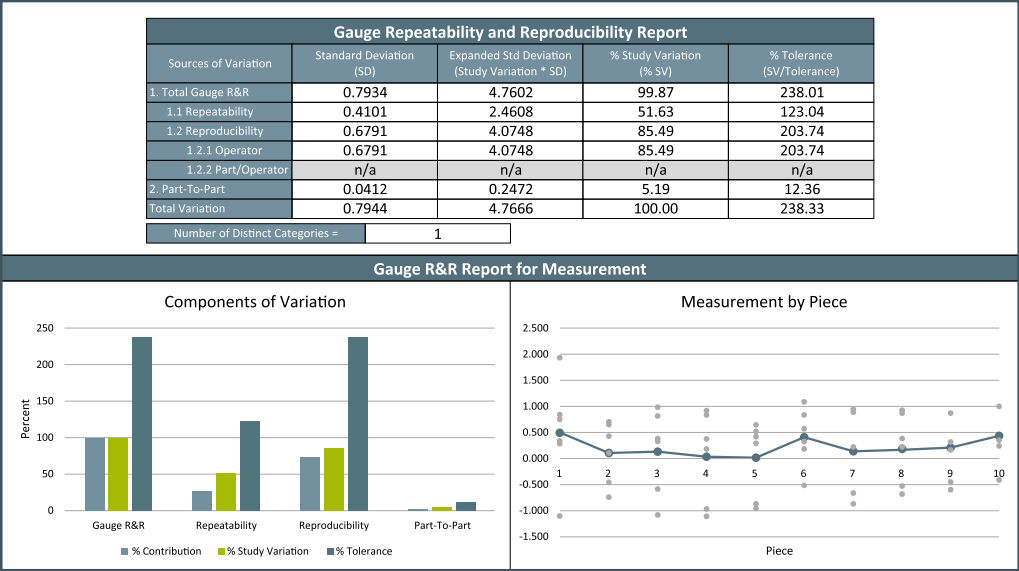


Рисунок 7
Анализ
Gauge
R&R



Рекомендации для метрологов

Данные, собранные по результатам измерений, проведенных системой, являются источником информации о влиянии неопределенностей измерений. Используя показатели эффективности измерений, представленные (на странице 5), метролог может предпринять корректирующие действия для оптимизации своего процесса измерения. Возьмем конкретный пример — диаграмму, отображающую целевое значение и разброс значений ошибок, как показано на рис. 8.

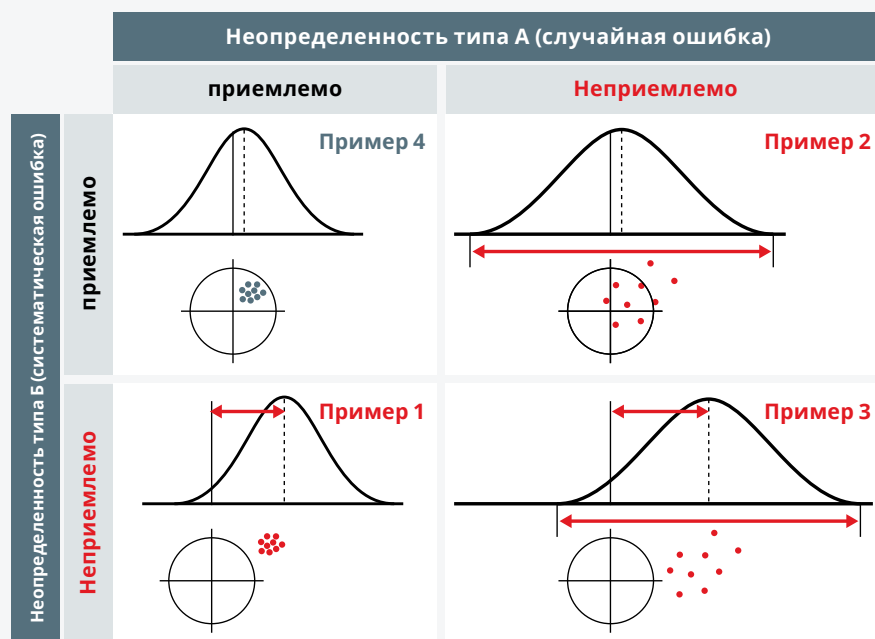


Рисунок 8 Систематические и случайные ошибки

Первая проблема, с которой может столкнуться метролог, — это является ошибкой точности (пример 1). Она может быть связана с предвзятостью линейности системы, но в обоих случаях эту ошибку можно легко исправить. Причины случайной ошибки точности могут быть⁴:

- метрологический прибор, нуждающийся в калибровке;
- изношенное устройство, оборудование или фиксатор;
- ошибка в эталонном образце, используемом в процессе анализа;
- метод измерения (например, неверный способ зажима детали в фиксаторе).

Вторая проблема, с которой может столкнуться метролог, — это случайная ошибка (пример 2). Она может быть связана с самой измерительной системой (повторяемость) или с операторами (воспроизводимость).

Причины случайной ошибки могут быть⁴:

- связаны с деталью: форма, положение, качество поверхности, сужение, смена образца
- связаны с прибором: ремонт, износ, неисправность оборудования или фиксатора, низкое качество или необходимость технического обслуживания.
- связаны с методологией: разница в настройке, способе проведения, в держании/зажимании детали.
- связаны с оператором: техника выполнения, положение, отсутствие опыта, навыки обращения с оборудованием/деталью или отсутствие нужной подготовки, усталость.

Если присутствуют все источники ошибки (пример 3), метролог должен разложить на составные элементы эффективность измерительной системы, используя индексы, и исправлять ошибки одну за другой (не все вместе), пока измерительная система не вернется в рабочее состояние (пример 4).

⁴ Measurement System Analysis (MSA) published by the Automotive Industry Action Group (AIAG)

Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление
о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа Б
- Неопределенность типа А

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей
методологии для оценки
неопределенности
сложных трехмерных
измерительных систем

Проведение анализа MSA
с использованием
экспериментальной
методологии и программного
обеспечения для
интеллектуальной
трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение

Заключение

Эффективный процесс анализа измерительной системы гарантирует, что вы получите достоверные трехмерные измерения. Сегодня нет необходимости мучиться с устаревшими, сложными процессами, которые требуют от вас обширных знаний в области статистических программных приложений и использования множества сторонних программных решений.

Программное решение PolyWorks® MSA для интеллектуальной трехмерной метрологии значительно упрощает настройку и выполнение анализов MSA для сред с трехмерными измерительными устройствами, обеспечивая надежный анализ изменчивости измерительной системы. Оно обеспечивает простой в использовании, полностью цифровой рабочий процесс, который гарантирует целостность результатов измерений и позволяет производителям уверенно выполнять анализы MSA для каждой новой детали, что, в свою очередь, обеспечивает лучший контроль качества.

Лоран Эмон-Жирар (Laurent Émond-Girard), P.Eng., M.A.Sc.
инженер-технолог, InnovMetric

innovmetric

Дополнительная информация

Контакты: [1-418-688-2061](tel:1-418-688-2061) | info@innovmetric.com

Посетите наш веб-сайт: www.innovmetric.com



Выполнение достоверных
трехмерных измерений |
Интеллектуальный
трехмерный подход к
метрологическим
измерениям

Общее представление о MSA

Определение
измерительной системы

Показатели эффективности
измерительной системы

- Неопределенность типа B
- Неопределенность типа A

Возможности и эффективность
измерительной системы

Расширенная неопределенность
(доверительный интервал)

Выбор подходящей методологии для оценки неопределенности сложных трехмерных измерительных систем

Проведение анализа MSA
с использованием
экспериментальной
методологии и программного
обеспечения для
интеллектуальной
трехмерной метрологии

Анализ повторяемости

Анализ Gauge R&R

Рекомендации для метрологов

Заключение