Хабибрахманова А.Р., Вячеславов О.Ф., Парфеньева И.Е.

Анализ измерительных систем как инструмент повышения качества измерений

*Московский политехнический университет
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2018-53

idsp: 000001:sr-10-04-2018-53

Аннотация

Данная работа посвящена рассмотрению анализа измерительных систем (MSA) как инструмента повышения качества измерений.

Ключевые слова: измерительная система, статистические характеристики процесса измерения, методы их оценки, алгоритм анализа измерительных систем, критерии приемлемости измерительной системы.

Annotation

This work is devoted to the analysis of measurement systems (MSA) as a tool to improve the quality of measurements.

Keywords: measuring system, the statistical characteristics of the measurement process and methods of evaluation, the algorithm of the measurement systems analysis, acceptance criteria for measurement system.

Анализ измерительной системы (MSA анализ) призван дать ответ о приемлемости измерительной системы путем количественной оценки ее точности, стабильности и сходимости.

Измерительная система включает:

- измерительный прибор СИ (поверенный, откалиброванный, исправный);
- персонал (оператор, проводящий измерения, его умения, опыт, усталость);
- правила измерения (процедура измерения);
- проверяемый объект (часто с нестабильными, неустойчивыми характеристиками);
- программное обеспечение (программирование, правильные настройки программы);
- выполненные на самом деле операции (правильная последовательность и точность действий, выполняемых оператором);
- окружающая среда (часто влияющая на колебания измеряемого параметра).

MSA анализ используется для минимизации риска того, что несоответствия в элементах измерительной системы могут привести к ложным решениям в отношении контроля над продукцией и ненужной регулировке процесса. Правильность принимаемых решений зависит от достоверности данных, полученных при измерении.

Анализ измерительной системы оценивает способность измерительной системы обеспечивать адекватность данных для конкретного процесса и должен быть проведен до начала измерений.

Когда измеряется продукт на выходе производственного процесса, существует две возможные причины изменчивости:

- изменчивость от деталей к деталям;
- изменчивость самой измерительной системы.

Если изменчивость измерительной системы велика по сравнению с изменчивостью от деталей к деталям, измерения не могут дать полезной информации. Поэтому возникает проблема анализа измерительной системы.

Измерительная система должна адекватно различать детали для эффективного мониторинга процесса.

Прежде чем собирать данные о процессе (например, для управления производственным процессом или расчета показателей пригодности), необходимо провести анализ измерительной системы, чтобы гарантировать, что измерительная система является стабильной и точной, и может адекватно находить различия между деталями.

Анализ измерительной системы нужно проводить, когда необходимо получить ответы на следующие типы вопросов:

1. Может ли измерительная система адекватно различать детали?
2. Является ли система стабильной с течением времени?
3. Является ли система точной во всем диапазоне размеров деталей?

Например, вискозиметр способен точно искать различия в вязкости различных образцов краски? Требуется ли калибровка весов для адекватного измерения веса мешков с картофельными чипсами? Точно ли термометр измеряет температуру всех процессов, используемых в производстве?

Ошибки измерительной системы можно разделить на две категории: точность и дисперсия (разброс).

Точность (или правильность) характеризуется разницей между измеренным значением и истинным (опорным) значением.

Разброс характеризуется изменчивостью, которая возникает, когда мы несколько раз измеряем одну и ту же деталь с одним и тем же устройством.

В любой измерительной системе существует одна или обе из этих проблем, рисунок 1. Например, устройство может измерять детали с небольшим разбросом (небольшая изменчивость в измерениях), но не точно.

Или устройство может быть точным (среднее значение измерений очень близко к истинному значению), но дает широкий разброс (очень большое значение изменчивости измерений). Или устройство может быть неточным и с широким разбросом.

Рисунок 1. Проблемы измерительной системы

Точность измерительной системы включает в себя три компонента:

- систематическую погрешность (измерение смещения в измерительной системе) – разница между измеренным средним и истинным (опорным) значением;
- линейность – это мера того, насколько размер детали влияет на систематическую погрешность измерительной системы; разница в измеренных значениях смещения из-за ожидаемого диапазона измерений;
- стабильность – это показатель того, насколько хорошо система ведет себя в течение времени, общая изменчивость, полученная путем измерения определенной детали конкретного устройства, когда одна характеристика измеряется с разными временными интервалами.

Разброс, мера изменчивости, состоит из двух компонентов: сходимости и воспроизводимости.

Анализ приемлемости представляет собой анализ статистических характеристик процесса измерения. При этом определяется:

1. оценка изменчивости положения полученных значений:

- стабильность;
- точность и смещение;
- линейность смещения;

2. оценка величины и разброса полученных значений:

- сходимости результатов измерений;
- воспроизводимости результатов измерений;
- прецизионный и GRR-инструмент.

Стабильность – это состояние, в котором устранены все особые причины изменчивости, т.е. наблюдаемая изменчивость может быть объяснена постоянной системой обычных причин (рисунок 2).

Рисунок 2. Процессы в неустойчивом (левом) и стабильном (правом) состоянии

Оценка стабильности процессов измерения осуществляется с использованием контрольных диаграмм. На предприятиях данный метод используется для оценки устойчивости технологических процессов. Накоплен большой опыт применения и интерпретации полученных результатов.

Смещение процесса измерения является систематической ошибкой в результатах измерений, полученных при измерении (рисунок 3)

Рисунок 3. Смещение процесса измерения

Линейность смещения процесса измерения представляет собой изменение смещения процесса измерения в диапазоне измеренных значений параметров.

Линейность смещения измерительных процессов оценивается с использованием корреляционного анализа – для определения взаимосвязи между смещением и значением предполагаемого истинного значения измеряемого параметра (рисунок 4). В качестве меры линейности используется коэффициент корреляции.

Рисунок 4. Линейность смещения процесса

Стабильность, смещение и линейность непосредственно связаны с измерительным прибором, они оцениваются во время испытаний.

Сходимость результатов измерений (рисунок 5) – степень близости результатов измерений одного и того же измеренного параметра, выполняемая при неизменных условиях измерения.

Рисунок 5. Сходимость измерительной системы

Воспроизводимость результатов измерений – степень близости результатов измерений, сделанных различными операторами на одном и том же приборе, с помощью одной и той же методики измерения, измеряющими ту же характеристику одной и той же детали, рисунок 6.

Рисунок 6. Воспроизводимость результатов при измерении различными операторами

Сходимость и воспроизводимость (рисунок 7) оцениваются с использованием одностороннего дисперсионного анализа. Сходимость и воспроизводимость относятся к системе измерений в целом и требуют дополнительных исследований. Анализ сходимости и воспроизводимости измерительных систем называется «Gage Repeatability and Reproducibility» – GRR.

Рисунок 7. Сходимость и воспроизводимость результатов измерений GRR

Определение сходимости и воспроизводимости измерительных систем может быть оценено различными способами:

- способом размахов;
- способом средних и размахов;
- дисперсионным анализом (ANOVA).

Дисперсионный анализ является наиболее точным из них и позволяет рассчитать:

- сходимость и воспроизводимость отдельно;
- взаимодействие между оператором и продуктом;
- вклад измерительной системы в наблюдаемое изменение значений;
- изменчивость измерительной системы.

Основными критериями оценки пригодности измерительных систем являются:

- доля изменчивости показателей измерительной системы;
- доля вклада измерительной системы в разброс наблюдаемых значений;
- число категорий дискретности.

Оценка пригодности измерительной системы в соответствии с первыми двумя критериями может быть выполнена на основе указаний таблицы, рисунок 8.

Таблица пригодности измерительной системы		% Вклада		
		<10%	10-30%	>30%
% Изменчивости	<10%	1	2	3
	10-30%	4	5	6
	>30%	7	8	9

Рисунок 8. Таблица пригодности измерительной системы.

На уровень дискретности накладывается только одно условие: количество категорий дискретности должно превышать 4 (т.е. 5 и выше).

Чтобы провести исследование статистических характеристик, необходимо наличие руководителя исследования; выполнение измерений несколькими операторами; определение размера выборки, количества повторных тестов и частоты выборки; проведение измерений случайным образом, и операторам не следует знать номер проверяемой детали.

Методология проведения анализа измерительных систем должна соответствовать последней версии MSA анализа.

Все измерительное оборудование, используемое для управления специальными характеристиками, выбирается из условия, что его ошибка равна 1:10 от допуска для контролируемого параметра.

Анализ измерительных систем осуществляется с использованием 10 деталей, 3-х операторов и 3-х попыток, если не указано иное.

Организация должна провести статистическое исследование для анализа изменений, присутствующих в результатах всех типов измерительных и испытательных систем. Это требование должно применяться ко всем измерительным системам, указанным в плане управления технологическим процессом. Методы аналитических исследований и критерии оценки пригодности измерительных систем должны соответствовать указанным методам и критериям заказчика. Все другие методы и критерии приемлемости могут использоваться с разрешения клиента.

Для обеспечения уверенности в данных, полученных при измерении и мониторинге, следует обеспечить, чтобы средства мониторинга и измерительное оборудование были пригодны для использования, и чтобы их требуемая точность соответствовала принятым эталонам.

Опыт анализа измерительных систем на предприятиях показывает, что данная процедура состоит из нескольких этапов:

1. Руководитель отдела – ответственный за метрологическое обеспечение производственных процессов (МОПП) – определяет список анализируемых измерительных систем и организует проведение MSA анализа.

2. Специалисты подразделения проводят измерения образцов продукции и отправляют данные в отдел главного метролога.

3. Работники отдела главного метролога обрабатывают результаты измерений и составляют отчет об анализе.

При необходимости, исходя из полученных результатов, главный метролог дает рекомендации по совершенствованию измерительной системы. Начальник отдела определяет корректирующие меры, после реализации которых проводится повторный анализ системы (рисунок 9).

Рисунок 9. Алгоритм анализа измерительных систем

Кроме того, оценивается приемлемость измерительной системы в соответствии с определенными критериями, а также для более полного анализа рассчитываются

относительные значения компонентов изменчивости (сходимость, воспроизводимость, взаимодействие оператора и выборки, эффективность процесса управления).

Рассмотрим основные критерии приемлемости процесса измерения.

Анализ карты средних помогает оценить применимость измерительной системы, т.е. соответствует ли коэффициент точности измерительной системы и технологический допуск параметра.

Анализ карты средних помогает оценить стабильность измерительной системы, т.е. отсутствие «провалов» или «промахов» в процессе измерения, связанных с работой операторов и используемым методом измерения.

Критерий приемки GRR – комбинированная оценка сходимости и воспроизводимости – учитывает влияние образца, измерительного прибора и оператора на результат измерения. Значения критериев и выводы о приемлемости измерительной системы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Критерии приемлемости измерительной системы

Значение %GRR	Вывод о приемлемости измерительного процесса
Менее 10	Измерительный процесс приемлем
От 10 до 30	Измерительный процесс может быть приемлем в зависимости от важности применения, стоимости средств измерительной техники и по согласованию с Потребителем
Более 30	Измерительный процесс не пригоден. Требуется корректирующие действия по совершенствованию

На первый взгляд кажется, что для получения приемлемых результатов измерений достаточно взять высокоточный измерительный прибор. Однако MSA анализ показывает, что низкая квалификация оператора, невозможность использования устройства, использование неправильной методики измерения могут привести к выводу, что измерительная система должна быть скорректирована.

MSA анализ позволяет исследовать и оценивать все влияющие факторы и применять меры к ним для улучшения всего процесса измерения и, следовательно, применять стратегию предупреждения, а не обнаруживать несоответствия в продуктах.

Оценка статистических характеристик процессов измерения должна проводиться при условии, что все средства измерения были откалиброваны/прошли поверку.

Исследование всегда начинается с оценки устойчивости процессов измерения, поскольку статистические характеристики стабильных процессов остаются неизменными. Если процесс нестабилен, то конкретные причины идентифицируются и устраняются. Затем исследование стабильности снова проводится до тех пор, пока процесс не будет приведен в устойчивое состояние. После этого оценивают смещение и линейность смещения. Если смещение признано ненулевым, то оно используется позже для оценки сходимости и воспроизводимости. Если существует линейная зависимость между смещением и измеренным истинным значением, это также учитывается при оценке сходимости и воспроизводимости процесса измерения. Для процесса управления определяются смещение и сходимость. В случае неприемлемой сходимости и воспроизводимости процесса выявляются и устраняются причины повышенной изменчивости.

Внедрение методологии анализа измерительных процессов является важным этапом непрерывного повышения качества продукции и одним из требований к сертификации предприятия в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51814.1 (ИСО/ТУ 16949:2002).

Заключение

Качество продукции напрямую зависит от измерительных систем, а значит, и от анализа измерительных систем.

Практика показывает, что при внедрении MSA анализа специалисты предприятий испытывают трудности с пониманием положений этого метода. При этом многие воспринимают MSA анализ некой абстрактной наукой.

На российских фирмах к статистическим методам анализа отношение осторожное (в плане внедрения). Причина – недостаточное знание методов и отсутствие понимания, как же они полезны. А как же за рубежом? В компаниях рабочие о статистических методах знают намного больше, чем наши специалисты (к великому сожалению). В данное время ситуация меняется. Итак, с чего же начать, кто этим будет заниматься, как лучше сделать, кто обязан пользоваться информацией и т.д.

За MSA анализ отвечает метрологическая служба. Если ее нет, то решение о применении MSA анализа принимает технологическая служба.

Примерное содержание плана по внедрению MSA анализа:

1. Назначить ответственного исполнителя за внедрение методики.
2. Определить состав группы специалистов.
3. Выяснить у покупателей, какие руководства по анализу измерительных систем они признают, и получить их.
4. Обучить работников (теория и практика).
5. Купить (или разработать) программное обеспечение (ПО).
6. Обучить применению ПО.
7. Разработать процедуру.
8. Провести анализ измерительных систем и измерение возможностей производственных процессов.
9. Составить график проведения анализа измерительных систем и измерения возможностей производственных процессов.
10. Выполнить график (регулярное рассмотрение результатов).
11. Провести необходимые изменения для нестабильных процессов и систем измерения.
12. Провести повторные исследования измерительных систем и технологических процессов (пока не получится требуемый результат по процессам или системам).

И в завершение очень коротко по введению MSA анализа: теория и практика, практика, и еще раз практика.

1. Исаев С. В. Внедрение методик статистического управления процессами и анализа измерительных систем. Методы менеджмента качества, 2006, №9, с. 39-41.
2. Мартынов А.В., Колодкин С.Г., Лапин А.П. Методика анализа измерительных и контрольных процессов на ЗАО «КЕДР». URL:<http://quality.eur.ru/DOCUM4/msa.htm> (дата обращения 11.02.2018).
3. Борисенко Е.В., Буянова И.В. Проведение анализа измерительных систем (MSA) на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Литье и металлургия, №2(87), с.54-57.
4. Методология MSA (MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS): опыт практического применения. URL:http://www.up-pro.ru/library/production_management/operations_management/msa-opyt.html (дата обращения 21.12.2017).
5. ГОСТ 51814.5-2005 Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов.