

## Анализ на измервателната система (MSA) като елемент от системата за управление на качеството в индустрията

Цветелин Георгиев, Данко Тонев, Георги Георгиев

**Measurement systems analysis (MSA) as an element of a quality management system in industry:** *The measurement system assures that all decisions are made based on solid facts. The international standard ISO 10012:2003 "Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment" specifies requirements which guarantee that the measurement system is adequate and that the risk of having misleading measurement results is managed by using statistical techniques. The advantages of using this standard can be further improved by the application of the Measurement Systems Analysis (MSA) developed by the Automotive Industry Action Group (AIAG).*

**Keywords:** *Measurement systems Analysis (MSA), ISO 10012:2003, ISO/TS 16949:2009*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Преди повече от 25 години Международната организация по стандартизация ISO издава първите стандарти от серията ISO 9000, а в новото хилядолетие ги допълва с технически спецификации и препоръки, подпомагащи организациите в пълноценното им практическо прилагане. Известно е, че системите за управление на качеството се основават на осем принципа, като един от най-важният е този за „вземане на решение, основано на факти“ [1,2]. За потвърждаване на гореспоменатите „факти“ обикновено се използва инструментариума, характерен за процеса измерване, което лежи в основата на подобрене на качеството.

В областта на метрологията могат да се открият няколко стандарта, като БДС EN ISO 10012:2006 *Системи за управление на измерванията. Изисквания за процесите на измерване и техническите средства за измерване (ISO 10012:2003)*, БДС EN ISO/IEC 17000:2006 *Оценяване на съответствието. Речник и общи принципи (ISO/IEC 17000:2004)*, БДС EN ISO/IEC 17025:2006+AC:2006 *Общи изисквания относно компетентността на лабораториите за изпитване и калибриране (ISO/IEC 17025:2005+Cor.1:2006)*. Последните два се отнасят основно за лаборатории, а в машиностроителните фирми в България, които в мнозинството си са в категорията „малки и средни предприятия“, специализирани лаборатории вече почти няма. Това налага изискванията към „функцията по метрология“, която често се съвместява с други длъжности в организацията, да бъдат дефинирани по-конкретно за улеснение на специалистите при практическото прилагане на законови, стандартизационни, браншови и клиентски изисквания.

### СТАНДАРТИЗАЦИОННИ ИЗИСКВАНИЯ ПО ОТНОШЕНИЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНАТА СИСТЕМА

Целта на настоящата статия е да се изследват и по възможност да се отстранят потенциалните причини, водещи до увеличаване на вариацията, породена от измервателната система.

Утвърдилият се като „азбуката“ на системите за управление и в частност – на системите за управление на качеството, стандарт **ISO 9001** отделя съществено внимание на измервателната система в клауза „7.6 *Управление на техническите средства за наблюдение и измерване (ТСНИ)*“ [1]. Тя от своя страна е пряко свързана с основен елемент от подобряването на качеството, а именно с клауза „8.2 *Наблюдение и измерване*“. В нея, наред с наблюдение и измерване на удовлетвореността на клиентите и на системата за управление на качеството чрез вътрешни одити, съществено внимание се обръща на наблюдението и измерването на процесите и продуктите. Планирането и осъществяването на производствените

процеси е неразривно свързано с:

- критериите за приемането на продукта,
- изискваните дейности за проверка, валидиране (потвърждаване), наблюдение, измерване, контрол и изпитване конкретно за продукта,
- осигуряването и използването на технически средства за наблюдение и измерване.

Според изискванията на стандарта ISO 9001:2008 „организацията трябва да използва подходящи методи за наблюдение и измерване на процесите на системата за управление на качеството, като те трябва да доказват пригодността на процесите да постигат планираните резултати.“ Пригодността на процесите се оценява с определянето на т.нар. индекс на възможностите (способността) на процеса:

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} \quad (1)$$

Както е видно от зав.1. способността на процеса  $C_p$  е в правопрпорционална връзка с планираното разсейване, което метрологично се изразява с допуск на показателя на качество „Т“. Оценяването на способността на процеса става възможно едва тогава когато е измерено реалното разсейване, изразено чрез неговата вариация „ $\sigma$ “. Това е възможно при използване на ТСНИ, чиято вариация е в рамките на допустимата стойност (виж EV от MSA).

Сред множеството параметри, характерни за всички процеси, е необходимо да се контролират и измерват тези от тях, които са критични за неговото качество. За тяхното определяне могат да се използват изисквания на нормативни документи, на клиенти, вътрешни съображения на фирмата или утвърдените модели за съвършенство, като EFQM или ISO 9004 [2]. Клауза „8.3.2 Ключови индикатори за успеха“ успеха (англ. *Key performance indicators, KPIs*) от гореспоменатия стандарт посочва, че тези индикатори „трябва да бъдат определени количествено и трябва да позволяват на организацията да поставя измерими цели, да идентифицира, да наблюдава и да прогнозира тенденциите, да предприема коригиращи и превантивни действия и мерки за подобряване“. В ISO 9004 е предвидена възможност за самооценяване на организацията по отделните елементи като се използва рамка от 5 нива на зрялост като най-високото (пето) ниво по отношение на KPI се характеризира със:

- систематичен анализ на изчерпателни данни от наблюдение и измерване;
- предвиждане на тенденциите на база на надеждна информация и за вземане на стратегически решения.
- анализ на риска за определяне на приоритетите при подобряването;
- вземане на адекватни стратегически решения, обосновани от стойности на ключовите индикатори за успеха.

Наред с контрола на процесите „организацията трябва да наблюдава и измерва характеристиките на продукта, за да провери дали изискванията за продукта са удовлетворени“[1, 2] В зависимост от вида и важността на показателя на продукта се избира и подходящ план за контрол, бил той стопроцентов или извадков (нормален, усилен или отслабен). Удобно е критичните параметри на процеса и характеристики на продукта, които се измерват и контролират с ТСНИ, да бъдат записани в специфичен формуляр, наречен план за наблюдение или контролен план.

Изискванията за процесите на измерване и техническите средства за измерване се определени в ISO 10012 [3]. Ефикасната система за управление на измерванията е важна за постигане на измеримите цели по качеството на продукта. Целта е да се управлява рискът при получаване на неправилни резултати от техническите средства за измерване и процесите на измерване, които влияят върху качеството на продукта. Методите, използвани за системата за управление на

измерванията, обхващат от проверката на основните технически средства до прилагането на статистически методи в управлението на процеса на измерване.

Стандартът **ISO 10017** [4] предвижда статистически техники, които са приложими към клаузите на ISO 9001. На анализа на системата за измерване или „анализа на неопределеността на измерване“ е отделено специално място в клауза 4.5 от стандарта. Методът MSA е описан, посочено е за какво се използва, какви са очакваните ползи, ограничения и предупреждения спрямо неговото прилагане [5, 6]. Наред с това са изброени и някои примери на приложения като определяне на неопределеност на измерване, избор на нови технически средства, определяне на характеристиките на конкретен метод (достоверност, точност, повторяемост, възпроизводимост и т.н.), както и изпитване за пригодност на измервателното средство или система.

Независимо от вида на контролирания показател на качеството- измерим или неизмерим, на продукт или на процес, всяка организация трябва да поддържа калибрирани и проверени ТСНИ и квалифициран персонал, който да работи с тях. Това обикновено е неприложимо за микро- и малки фирми, като едно от възможните решения на проблема е използването на външни услуги от акредитирана за целта лаборатория.

### **ДОПЪЛНИТЕЛНИ ИЗИСКВАНИЯ НА АВТОМОБИЛНАТА ИНДУСТРИЯ ПО ОТНОШЕНИЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНАТА СИСТЕМА**

Изисквания на автомобилостроенето към измервателната система като част от системата за управление на качеството са конкретизирани в **ISO/TS 16949** и в **Ръководството за MSA** на AIAG [6, 8, 9]. Тези изисквания разширяват вече споменатите изисквания на ISO 9001 със следните допълнителни клаузи:

- **7.6.1 Анализ на системата за измерване: това изискване се прилага за системите за измерване, посочени в плана за наблюдение (контролният план).**

Техническата спецификация ISO/TS 16949 определя използваните аналитични методи и критериите за приемане, които трябва да бъдат в съответствие със справочните наръчници, дадени от клиента. В автомобилната индустрия широко е застъпено разработването на анализ на системата за измерване съгласно Ръководството за MSA.

Това ръководство определя (но не ограничава) методите на анализ на системата за измерване като ги класифицира на обикновени и сложни, на методи за количествени (измерими) и качествени (неизмерими, атрибутивни) данни.

За провеждане на анализ на системата за измерване е необходимо да се запишат резултати от измерване на показател на качеството като се измерят от 2 до 10 продукта, с 2 или 3 повторения от 2 или 3 оценители (оператора).

Основните показатели на качеството на измервателната система, които могат да се определят с помощта на MSA са:

- ✓ повторяемост (Repeatability) или вариация на оборудването (EV);
- ✓ възпроизводимост (Reproducibility) или вариация на оценителите (AV);
- ✓ повторяемост и възпроизводимост на измервателното средство (Gage R&R или GRR);
- ✓ вариация на детайлите (PV);
- ✓ пълна (обща) вариация (TV);
- ✓ делът (%) на отделните съставляващи на пълната вариация;
- ✓ брой категории, на които може да се раздели вариацията на процеса на измерване (number of distinct categories – ndc) като изискването е  $ndc \geq 5$ .
- **7.6.2 Записи от калибриране и проверка;**
- **7.6.3 Изисквания относно лабораториите (7.6.3.1 Вътрешни лаборатории, 7.6.3.2 Външни лаборатории)- лабораторията да се**

приема от клиента или да бъде акредитирана в съответствие с ISO/IEC 17025.

Табл.1 Критерии за способност на средство за измерване [8]

| GRR    | Решение   | Коментар   |
|--------|---|--|
| <10%   | Обикновено се счита за подходяща (пригодна) измервателна система. | Препоръчва се; особено е полезна при сортиране или класифициране на продукти или когато се изисква усилен контрол на процеса.  |
| 10-30% | Системата може да е подходяща за някои приложения.                | Трябва да се вземе решение дали да се приложи измерване, да се оценят разходите за измервателно средство, разходите за преработване и ремонт. Би трябвало да се одобри от клиента.   |
| >30%   | Счита се за неподходяща измервателна система.                     | Трябва да се положат всички усилия за подобряване на измервателната система. Трябва да се приложи адекватна стратегия на измерване. Например, използване на средноаритметичният резултат от няколко отчетени стойности на един и същ показател на продукта, за да се намали окончателната вариация на измерването. |

### ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНАТА СИСТЕМА (MSA) В БЪЛГАРСКА ИНДУСТРИАЛНА ОРГАНИЗАЦИЯ

Описаните до тук изисквания са приложени при изследване на измервателната система при производство на определен тип детайл. При провеждане на изследването трима оценители, представители на типични функции в организацията и обичайно извършващи контрол на критичен размер ( $\varnothing 30,4^{+0,3}$ ) са измерили с шубер( имащ обхват на скалата от  $0 \div 150$  и константа  $i=0,01$ ) 10 детайла по 3 пъти. Получените резултати от контрола са обработени с помощта на предварително разработен шаблон в MS Excel. Стойностите на оценяваните показатели на измервателната система са:

- ✓ повторяемост (вариация на оборудването)  $EV=0,01$  или 90,47% от TV;
- ✓ възпроизводимост (вариация на оценителите)  $AV=0$  или 0% от TV;
- ✓ повторяемост и възпроизводимост на измервателното средство  $Gage R\&R=0,01$  или 90,47% от TV;
- ✓ вариация на детайлите  $PV=0,005$  или 42,6% от TV;
- ✓ пълна (обща) вариация  $TV=0,011$ ;
- ✓ брой категории  $ndc=0,5$  т.е. ниска разделителна способност на ТСНИ.

### АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ MSA И ПРЕПОРЪЧИТЕЛНИ ДЕЙСТВИЯ ПРИ НЕЗАДОВОЛИТЕЛНИ РЕЗУЛТАТИ

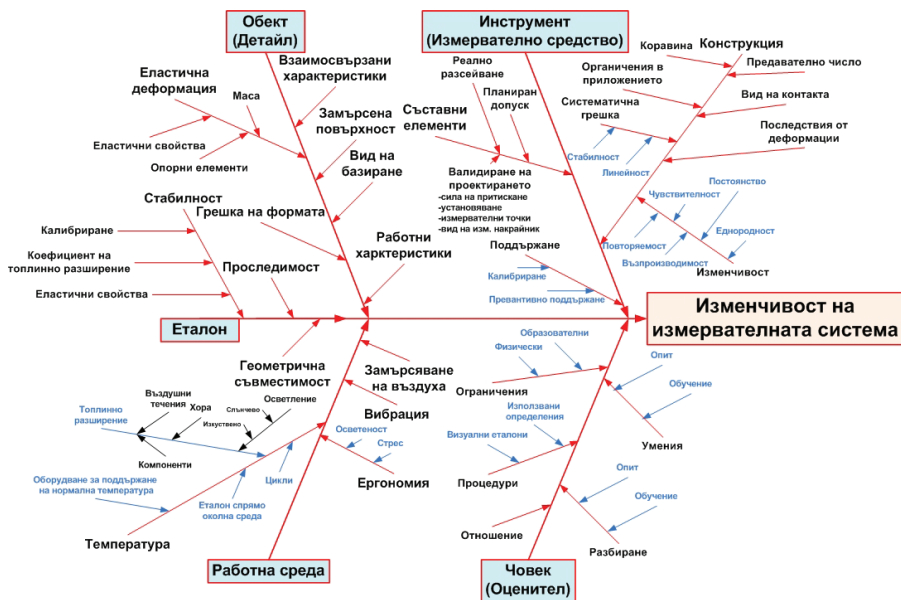
Резултатите от MSA показват, че измервателната система има нужда от подобрение, тъй като  $ndc < 5$  и  $GRR > 30\%$  от TV. Анализът показва, че съществена част от вариацията се дължи на повторяемостта, т.е. на вариацията на оборудването. Предприемането на коригиращи действия изисква най-напред да се определят причините (източниците на вариация) по метода S.W.I.P.E. (*Standard, Workpiece, Instrument, Person, Environment* – еталон, детайл (продукт), инструмент (ТСНИ), оператор (оценител) и работна среда), който е препоръчан в Ръководството за MSA. Ръководството на фирмата, съвместно с експерти в областта на метрологията е разработило причинно-следствена диаграма (фиг.1), на база на която са определени първопричините (коренните причини), водещи до недопустимо увеличаване на вариацията на измервателната система. От всички възможни причини предварително са елиминирани тези, които се отнасят до използвания еталон и до работната среда, тъй като всички измервания, които са част от анализа на измервателната система са проведени при едни и същи условия. За конкретните условия като основни първопричини са открити:

- силата на притискане на измервателните крайници към измерваната повърхност и вида на базирането на инструмента, които зависят и от уменията на оценителя;

- неправилно избраното ТСНИ (причина “ограничения в приложението”);  
 - замърсен фоторастерен преобразовател след поддържане на шублера с електронно-цифров дисплей (причина “превантивно поддържане”).

В резултат на това са планирани следните коригиращи действия:

- използване на друго / ново ТСНИ и повторно провеждане на MSA;
- обучение на персонала;
- документиране на работата с измервателната система чрез разработване на процедура според изискванията на ISO 10012 и дефиниране KPI за оценяване на ефективността и ефикасност на процеса.



Фиг.1. S.W.I.P.E. причинно-следствена диаграма "Изменчивост на измервателната система"

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на “Анализът на измервателната система (MSA)” е ценен инструмент при планиране и осъществяване на контрола на качеството. Получените резултати от MSA са задължителна предпоставка за разработване на статистически контролни карти на процеса (SPC), планове за контрол на продукти и контролни планове. Способността на измервателната система да открива несъответствия в параметрите на процесите и характеристиките на продуктите намалява риска както за фирмата, така и за нейните клиенти.

## ИЗВОДИ

1. Направен е обстоен анализ на изискванията към измервателната система, като са разгледани международни стандарти и изисквания на браншови организации.
2. Измервателната система за контрол на индустриален продукт е анализирана и оценена чрез съответните критерии за повторяемост и възпроизводимост.
3. Обобщени са основните причини, които оказват доминиращо влияние върху вариацията на процеса на измерване и са предложени съответните коригиращи мерки за тяхното отстраняване или минимизиране.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN ISO 9001:2008 Системи за управление на качеството. Изисквания (ISO 9001:2008).
- [2] БДС EN ISO 9004:2009 Управление за дълготраен успех на всяка организация. Подход за управление чрез качеството (ISO 9004:2009).
- [3] БДС EN ISO 10012:2006 Системи за управление на измерванията. Изисквания за процесите на измерване и техническите средства за измерване (ISO 10012:2003).
- [4] БДС ISO/TR 10017:2006 Указание за статистически методи за ISO 9001:2000 (ISO/TR 10017:2003).
- [5] Железаров И. Повторяемост и възпроизводимост на измервателни системи. International scientific conference 19 – 20 November 2010, Gabrovo.
- [6] СД ISO/TS 16949:2010 Системи за управление на качеството. Конкретни изисквания за прилагането на ISO 9001:2008 при серийното производство и производството на резервни части за автомобилната индустрия (ISO/TS 16949:2009).
- [7] Тонев Д. Оценка на избора на измервателно средство чрез критериите за повторяемост и възпроизводимост. Известия на съюза на учените., Серия технически науки, Русе, 2012.
- [8] Measurement Systems Analysis (MSA). Reference Manual, Fourth Edition, June 2010, ISBN 978-1-60-534211-5.
- [9] [www.aiag.org](http://www.aiag.org) The Automotive Industry Action Group (AIAG).

## За контакти:

гл. ас. д-р инж. Цветелин Кирилов Георгиев, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе, Машинно-технологичен факултет, катедра Технология на машиностроенето и металорежещи машини, телефон 082/888493, E-mail: [tzgeorgiev@uni-ruse.bg](mailto:tzgeorgiev@uni-ruse.bg)

гл. ас. д-р инж. Данко Христов Тонев, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе, Машинно-технологичен факултет, катедра Технология на машиностроенето и металорежещи машини, телефон 082/888493, E-mail: [dtonev@uni-ruse.bg](mailto:dtonev@uni-ruse.bg)

инж. Георги Ангелов Георгиев, „Г. Георгиев 2006“ ЕООД, Русе, телефон 082/823654, E-mail: [georgiev2006@gmail.com](mailto:georgiev2006@gmail.com)

## Докладът е рецензиран