

ПОВТОРЯЕМОСТ И ВЪЗПРОИЗВОДИМОСТ НА ИЗМЕРВАТЕЛНИ СИСТЕМИ

REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY MEASUREMENT SYSTEMS

Илия Железаров

ТУ - Габрово, 5300 Габрово, ул. "Хаджи Димитър" 4, E-mail: izhel@tugab.bg

Abstract

The up-to-date approach for assuring the quality of measurements and control requires accounting for all factors which influence on the measurement process. Different methods are used about the quality estimation of measurement systems as one of the most applied method in practice is the analysis of repeatability and reproducibility.

Keywords: measurement, device for measurement, measurement system analysis.

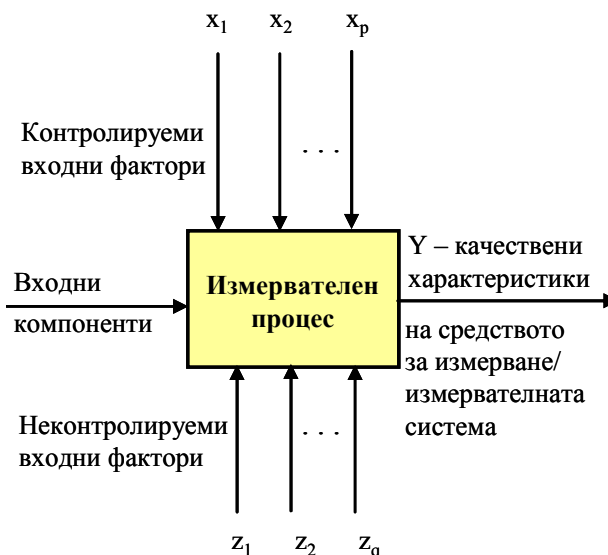
ВЪВЕДЕНИЕ

Анализът на средствата за измерване и измервателните системи дава възможност да бъдат оценени статистическата способност на средствата за измерване и измервателните системи, качеството на измерванията и контрола, обективността на резултатите и данните от измерването, установяване на последствия от грешки при измерването и решения за даден продукт или процес [5]. Това все по-често се явява и като изискване към доставчици на продукти или услуги, особено във високотехнологични браншове като автомобилната промишленост, където дейностите, свързани с анализа на измервателните системи е изискване в техническата спецификация на международната организация по стандартизация ISO/TS 16949:2009 "Системи за управление на качеството - Специфични изисквания за прилагането на ISO 9001:2008 за серийното производство и производството на резервни части в автомобилната промишленост". Все по-честото прилагане на процедури за анализ на измервателни системи доведе до разработване на софтуерни пакети за автоматизирана обработка и документиране на резултатите от измерванията.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Анализът на средствата за измерване и измервателните системи може да бъде пред

ставен като планиран експеримент, с който се цели да бъдат определени компонентите на разсейването при измерванията, качеството на резултатите от измерванията и контрола, способността на средството за измерване или измервателната система.



Фигура 1: Модел на процеса на анализ на средство за измерване или измервателна система

За анализа на средствата за измерване и измервателните системи, както и при класическия подход за планиране на експеримента, се провеждат тест или серия от тестове, в които са направени съдържателни промени на входните променливи на проце-

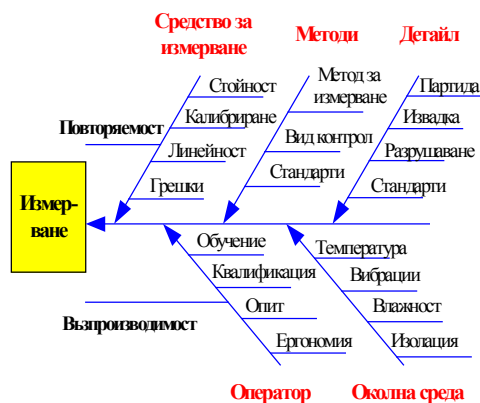
са, така че да могат да се наблюдават и идентифицират съответните промени в изходния резултат [4].

Входните компоненти на измервателния процес могат да бъдат: размер и допускова зона на контролирания параметър, серийност на производство, икономически характеристики на измерването и контрола и др.

Контролируемите входни фактори могат да включват: оборудване (средство за измерване или измервателна система, калибриране и статус на средството или системата), персонал (образование, квалификация, опит, мотивация, програми за обучение), процес (метода за измерване, процедури, спецификация), елементи за проверка (детайли, план за вземане на извадки).

Неконтролируемите входни фактори са свързани основно с обкръжаващата среда (температура, влажност, вибрации и др.), като с определени технически решения те могат да бъдат трансформирани като контролируеми входни фактори (климатизиране на помещенията, изолиране и демпфериране на измервателни системи и др.). В резултат, на изхода на измервателния процес, елементите на качествена характеристика “у” могат да се характеризират със: стабилност, линейност, повторяемост и възпроизводимост, грешки и др.

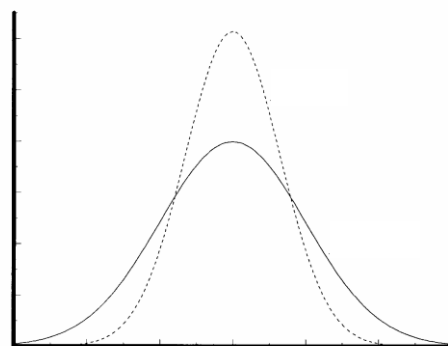
При подготовката за анализа на измервателни системи в [8] се предлага използването на класически статистически методи. Един от най-подходящите методи е добре познатата причинно-следствена диаграма. На фиг. 2 представен анализ на проблемите, свързани с измерването и причините, които влияят на процеса (средството за измерване или измервателната система, оператора, методите за измерване, материалите, околната среда и др.)



Фигура 2: Причинно-следствена диаграма за процес "Измерване"

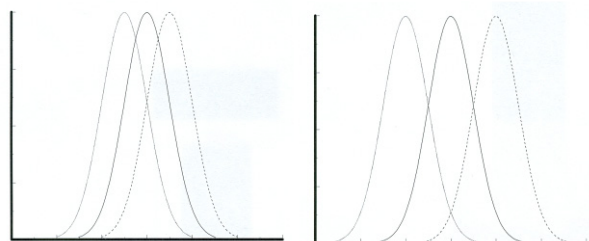
Повторяемост и възпроизводимост (Repeatability and Reproducibility или съкратено R&R) е един от най-често прилаганите методи за анализ на измервателни системи [10].

Повторяемостта (на резултати от измервания) е степента на съвпадане на резултати от последователни измервания на една и съща измервана величина, извършени при едни и същи условия на измерване. Може също така да се представи като вариацията на измерванията, получени от едно лице (средство за измерване), при многократни измервания на една и съща позиция. Повторяемостта е свързана с точността на средствата за измерване.



Фигура 3. Повторяемост на резултатите от измерването

Възпроизводимостта (на резултати от измервания) е степента на съвпадане на резултати от измервания на една и съща измервана величина, извършени при променени условия за измерване или още това е променливостта на измервателната система причинена от поведението на оператора.



Фигура 4. Възпроизводимост на резултатите от измерването

За определяне на R&R на измервателна система най-често се използват наложенияте в практиката статистическо управление на процесите с контролни карти (по-конкретно на размаха и средно-аритметичната

стойност) и двуфакторен дисперсионен анализ (ANOVA). При двата подхода се изследва разсейването (чрез размаха, дисперсията или средно-квадратичното отклонение) на резултатите от измерването на серия еднотипни детайли (извадката може да бъде от 5, 10, 15 или друг брой), измерени от двама или трима оператори с едно средство за измерване.

При изборът на метод за R&R анализ на измервателната система трябва да бъде отчетено, че по-прецизен е метода ANOVA, но при прилагането му е необходима да се разполага с приложен софтуерен продукт, а метода размах – средноаритметична стойност успешно може да бъде прилаган при експресни изследвания и когато не разполагаме с компютърни приложения.

При пресмятане на R&R по методите Размах – средноаритметична стойност и ANOVA, предварително трябва да бъде определена доверителната вероятност и от там стойността на z_0 , както е представено в таблица 1. При прилагането на стандарта ISO/TS 16949:2009 се препоръчва да бъде използвана вероятност 99%, съответно $z_0=5,15$.

Табл. 1

P (x)	z_0
90	3,29
95	3,92
99	5,15
99,73	6

Определянето на R&R по метода размах – средноаритметична стойност се извършва в следната последователност [11]. Първо се пресмята повтораемостта R_1 , в зависимост от характеристиката на разсейването, причинено от средството за измерване (s_E), на резултатите от измерванията и избраната доверителна вероятност, чрез z_0 .

$$R_1 = z_0 \cdot s_E \quad (1)$$

$$s_E = \frac{\bar{R}}{d_E} \quad (2)$$

където $\bar{R}$ е средноаритметичната стойност на размаха за всички измерени стойности и оператори, а d_E е коефициент на пропорционалност.

След това се пресмята възпроизводимостта

R_2 , която се характеризира от разсейването, причинено от оператора (s_A)

$$R_2 = s_A = \sqrt{\left(\frac{z_0 \cdot \bar{X}_R}{d_A}\right)^2 - \frac{s_E^2}{n \times r}} \quad (3)$$

където $\bar{X}_R$ е средноаритметичната стойност на размаха на измерванията между оценителя с най-висока средно-аритметичната стойност и оператор с най-ниска средноаритметичната стойност на размаха, d_A – коефициент на пропорционалност, n – брой детайли, r – брой измервания на детайл (брой опити).

$$R \& R = \sqrt{s_E^2 + s_A^2} \quad (4)$$

Оценката на R&R анализа в зависимост от общото разсейване се определя

$$GR \& R_v = \sqrt{\frac{s_E^2 + s_A^2}{s_p^2 + s_E^2 + s_A^2}} \times 100\% \quad (5)$$

където s_p^2 е дисперсията на резултатите от всички измервания при R&R анализа.

Оценката на R&R анализа в зависимост от допуска на детайла се определя

$$GR \& R_T = \frac{z_0 \times R \& R}{T} \times 100\% \quad (6)$$

където T е допуск на контролирания параметър на детайла.

Определянето на R&R с помощта на двуфакторен дисперсионен анализ (фактор А е оператора, а фактор В – детайла) се осъществява най-често с използването на специализиран или универсален софтуерен продукт, като се попълва таблицата на ANOVA (таблица 2).

Табл. 2

Източник на вариация	SS	Степени на свобода	MS
Фактор А (Оператор)	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$
Фактор В (Детайл)	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$
А x В	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$
Грешка	SS_E	$ab(r - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(r - 1)}$
Общо	SS_T	$abr - 1$	

За определянето на повторяемостта R_1 се използва формула 1, като характеристиката на разсейването се определя по формула 7, от получената в табл. 2 средната стойност на сумата на квадратите за грешката.

$$s_E = \sqrt{MS_E} \quad (7)$$

Възпроизводимостта R_2 се определя

$$R_2 = s_A = \sqrt{\frac{MS_A - MS_{AB}}{b \times r}} \quad (8)$$

където MS_A е средната стойност на сумата на квадратите за фактор A , MS_{AB} е средната стойност на сумата на квадратите при комбинацията от фактори A (оператор) и B (детайл), b – брой детайли, r – брой измервания на детайл (брой опити).

Стойността на $R\&R$ и оценките $GR\&R_V$ и $GR\&R_T$ се определят по формули 4, 5 и 6.

В зависимост от оценката $GR\&R$ се прави заключение за това дали средството за измерване и измервателната система като цяло отговаря на изискванията за качество на измерванията:

- при $GR\&R < 10\%$, измервателната система отговаря на изискванията;

- при $10\% < GR\&R < 30\%$, измервателната система условно отговаря на изискванията и е необходимо това допълнително да бъде съгласувано с клиента;

- при $GR\&R > 30\%$, измервателната система не отговаря на изискванията.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получаването на по-висока стойност на повторяемостта може да бъдат свързано с грешка при избора на средството за измерване, повреда на средството за измерване, неправилен метод за измерване, а за по-високата стойност на Възпроизводимостта

причината трябва да се търси в оператора и неговата квалификация, грешки при отчитане на показанията, методът, който се използва и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дичев Д. А. Ръководство за упражнения по метрология и измервателна техника (I част). Екс-прес. Габрово, 2006. 130 с.
- [2] Железаров И. С. Измерване на процесите и продуктите като фактор за подобряване на системите за управление на качеството. Машиностроене и електротехника, бр. 1. София, 2006, стр. 22-25.
- [3] Железаров, И. С. Ръководство за лабораторни упражнения по метрология и измервателна техника, Университетско издателство "В. Априлов" Габрово 2006 г., 60 стр.
- [4] Иванов И. Н. и И. С. Железаров. Управление на качеството. Основни инструменти и статистически методи за управление на качеството – част II. Университетско издателство "Васил Априлов". Габрово, 1999. 202 с.
- [5] Радев Х. Метрология и измервателна техника. Софтрейд. София, 2008. 759 с.
- [6] Стефанов, Н., Х. Радев, И. Буров, В. Станчева, Р. Воденичаров. Управление на качеството. Труд и право. София, 2004. 704 с.
- [7] ISO/TS 16949. Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations. International Organization for Standardization. Geneva. 2009. p. 39.
- [8] http://elsmar.com/pdf_files/MSA_J.pdf, 2004. Slide 17.
- [9] <http://www.6sigma.us/M Measurement Systems MSA/ measurement -systems -analysis-MSA-p27.html>.
- [10] <http://www.engineeredsoftware.com/mas.asp>.
- [11] <http://www.qualitytrainingportal.com/resources/msa/non-destructive-measurements.htm>.