ИЗТОЧНИЦИТЕ НА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ НА РЕЗУЛТАТА ОТ ИЗМЕРВАНЕТО КАТО ЕЛЕМЕНТИ НА ИЗМЕРВАТЕЛНИЯ ПРОЦЕС

Георги Милушев
Технически Университет – София, Катедра Информационно-измервателна техника,
бул. Кл. Охридски №8, София 1000, gm@tu-sofia.bg, https://tu-sofia.bg/

Резюме: Целта на настоящия анализ е да се улесни откриването и определянето на допринасящите компоненти, свързани с източниците на неопределеност при измерванията в целия спектър от аспекти на калибрирането, инспекциите, тестването и контрола на процесите. В статията, въз основа на концепцията за двойствеността на процеса на измерване – резултата от измерването, са обособени и класифицирани петте елемента на процеса на измерване като основни източници на неопределеност. Дадени са примери за връзки с други източници с повече или по-малко структурирани класификации на източниците на неопределеност на измерването. Научният принос е прилагането на универсален подход за определяне на източниците на неопределеност преди емпирична или експериментална оценка на техния принос. В резултат на изследването първоначалният анализ на източниците на неопределеност е унифициран и опростен, като се задава въпросът за приноса към неопределеността на измерването на всеки от добре дефинираните и универсални пет елемента на процеса на измерване.

Ключови думи: - измерване, процес, резултат, неопределеност, източници на неопределеност в измерванията

1. Въведение

Фундаментален въпрос при измерването, и особено при калибрирането, е правилната оценка на неопределеността, която е възможна чрез отчитане на приноса на всички нейни значими компоненти. Докато методите за оценка на неопределеността са добре анализирани, разработени и описани [1-9], откриването и определянето на допринасящите компоненти, свързани с източниците на неопределеност, остава в сферата на емпиричната експертиза на метролога.

В статията „Концепция за дуалността на процеса на измерване и резултата в контекста на неопределеността на измерването“ [10] е обяснена дуалността на процеса на измерване – резултата от измерване. Основната представена идея е, че резултатът не е елемент от процеса на измерване, а е продукт на процеса. Тази концепция се противопоставя на някои други класификации, където резултатът се разглежда като компонент на процеса [11]. Въз основа на тази концепция можем да класифицираме и разделяме елементите на процеса на измерване и елементите на резултатите от измерването.

В статията [10], след анализ на добре познати източници [2-7, 12-17], петте елемента на процеса на измерване са посочени, както следва:

- обект на измерване;
- метод на измерване;
- измервателен уред;
- субект на измерване;
- влияещи фактори.

Съгласно VIM [12] §2.9 ЗАБЕЛЕЖКА 2 „Резултатът от измерването обикновено се изразява като единична измерена стойност на величината и неопределеност на измерването“.

Следователно, елементите на резултатите от измерването са:

- измерена стойност на величината;
- неопределеност на измерването.

От своя страна, VIM [12] §1.19 стойността на величината се състои от „число и референтен елемент“. За пълнота отбелязваме, че неопределеността се изразява също чрез числена стойност и размерност.

Както е подчертано в [1] „Грешките характеризират процеса на измерване“. Анализът [10] на елементите на процеса на измерване определя съответните грешки. Следователно, източниците на неопределеност могат да бъдат определени, като се вземат предвид неизключените грешки в процеса на измерване като причина за неопределеност на измерването.

Основните източници на компонентите на неопределеността са свързани с елементите на процеса на измерване [10].

Целта на този доклад е да се определят и детайлизират съществените компоненти на неопределеността, присъщи на отделните елементи на процеса на измерване.

2. Обект и субект на измервателния процес

Говорейки за процеса на измерване, съгласно VIM [12], вместо величина е за предпочитане да се използва терминът „измервана величина“, където в § 2.3 тя е дефинирана като „величина, предвидена за измерване“. Очитайки най-абстрактното определение съгласно ЗАБЕЛЕЖКА 3 към същия параграф (2.3) на VIM [12], тук измерваната величина се нарича ОБЕКТ на измерването.



Фиг. 1 Взаимодействие между обекта и субекта в измервателния процес.

Разглеждайки процеса на измерване като абстрактен процес, той представлява взаимодействие между ОБЕКТА и СУБЕКТА на процеса (фиг. 1). В случая на измерване, СУБЕКТЪТ на процеса на измерване може да бъде оператор, устройство, контролер, алгоритъм или всеки друг субект, който използва резултата от измерването.

Взаимодействието в процеса винаги е двупосочно въпреки, че често при измерванията влиянието на СУБЕКТА върху ОБЕКТА се неглижира.

Измерването е количествен процес. Преди да се получат цифровите стойности на величините (характеризиращи ОБЕКТА), СУБЕКТЪТ трябва да квалифицира ОБЕКТА. Това означава, че СУБЕКТЪТ придобива априорна представа за ОБЕКТА преди измерванията. Тази априорна представа е свързана с идентифицирането на ОБЕКТА и класифицирането му към група ОБЕКТИ.

Априорната представа за обекта се нарича „Модел“ на ОБЕКТА [18, 19]. Моделът, повече или по-малко адекватен на ОБЕКТА, го квалифицира към група обекти, имащи едно и също количество или набор от величини (в най-сложните случаи), които е възможно да бъдат измерени.

3. Метод на измерване и средство за измерване

Взаимодействието между ОБЕКТА и СУБЕКТА винаги се осъществява съгласно МЕТОД, наречен МЕТОД на измерване (фиг. 2). VIM [12] § 2.5 казва, че „метод за измерване“ или „измервателен метод“ е „общо описание на логическа организация на операциите, използвани при измерване“.

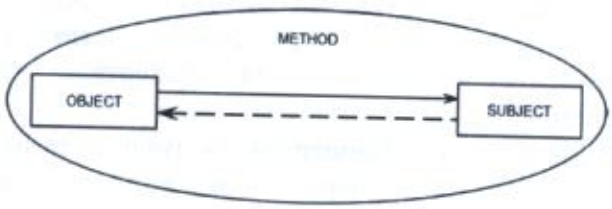

Fig. 2. Взаимодействие между обекта и субекта в съответствие с метод за измерване.

МЕТОДЪТ се основава на ключовите принципи [2, 7, 12] на взаимодействие между ОБЕКТА и СУБЕКТА на процеса за измерване. Всички квалификации на ОБЕКТА трябва да бъдат взети предвид в МЕТОДА на измерване. Поради това някои автори неоснователно отнасят модела на

ОБЕКТА към описанието на МЕТОДА [11]. В този случай VIM [12] със ЗАБЕЛЕЖКАТА към § 2.5 е категорично ясен.

Взаимодействието между ОБЕКТА и СУБЕКТА съгласно избрания МЕТОД се осъществява с инструмент/и за измерване, наречен/и ИЗМЕРВАТЕЛЕН/НИ УРЕД/И или СРЕДСТВО/А ЗА ИЗМЕРВАНЕ (фиг. 3).

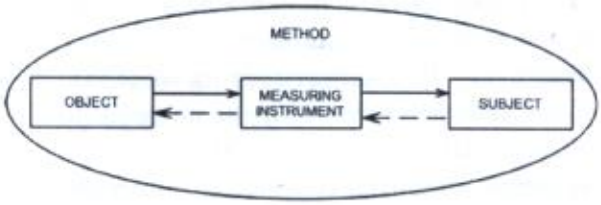

Fig. 3. Средство за измерване в процеса на взаимодействие между обекта и субекта в съответствие с метода за измерване

Дефиницията за СРЕДСТВО ЗА ИЗМЕРВАНЕ (ИЗМЕРВАТЕЛЕН ИНСТРУМЕНТ) във VIM [12] § 3.1 е „устройство, използвано за извършване на измервания, самостоятелно или свързано с едно или повече допълнителни устройства". Колкото по-сложно е устройството (инструментът), толкова повече МЕТОДЪТ за измерване е вграден в неговото действие. В някои случаи реализацията на метода за измерване изисква няколко прости устройства. В други случаи МЕТОДЪТ изисква само едно сложно устройство. Тогава МЕТОДЪТ е реализиран в устройството (фиг. 4).

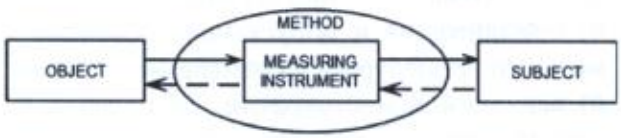

Fig. 4. Реализация на метода за измерване в процеса с комплексно средство за измерване (измервателна система съгл. VIM)

Такива комплексни измервателни средства, често използвани при измервания на място (в работни условия), във VIM [12] се наричат „измервателни системи" със съответно определение в § 3.2. За опростяване на изложението тук се използва само наименованието СРЕДСТВО ЗА ИЗМЕРВАНЕ.

4. Влияещи фактори

ВЛИЯЕЩИТЕ ФАКТОРИ са обстоятелства и съответните величини, чието отклонение влияе върху резултата от измерването. VIM [12] § 2.52 говори за „влияещи величини" с определение: „величина, която при пряко измерване не влияе върху реално измерената величина, но влияе върху зависимостта между индикацията и резултата от измерване". Изложението тук предпочита определението на GUM за „величина на влияние" като „величина, която не е измерваната величина, но влияе върху резултата от измерването" [2]. По този начин ФАКТОРИТЕ НА ВЛИЯНИЕ влияят върху СРЕДСТВОТО ЗА ИЗМЕРВАНЕ, върху ОБЕКТА на измерване и биха могли да повлияят върху СУБЕКТА (фиг. 5).

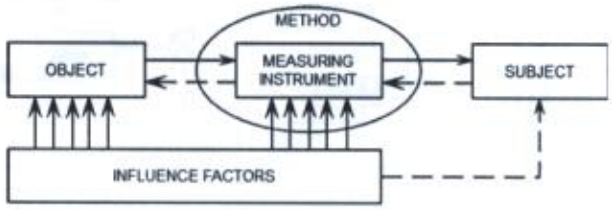

Fig 5. Въздействие на влияещите фактори върху обекта, средството за измерване и субекта на измервателния процес.

5. Елементи на измервателния процес

Посочените пет елемента на процеса на измерване: ОБЕКТ, СУБЕКТ, МЕТОД, ИЗМЕРВАТЕЛЕН ИНСТРУМЕНТ и ФАКТОРИ НА ВЛИЯНИЕ съществуват и могат да бъдат анализирани във всички случаи на процеси на измерване.

Например, при калибриране (фиг. 6), ОБЕКТЪТ е тестваното устройство (най-популярно като устройство под тест – DUT или единица под тест – UUT), СРЕДСТВОТО ЗА ИЗМЕРВАНЕ е референтният инструмент (калибратор, референтна мярка и др.), а СУБЕКТЪТ е оператор.

Резултатът от калибрирането е стойност и присъща неопределеност за всяка точка на калибриране.

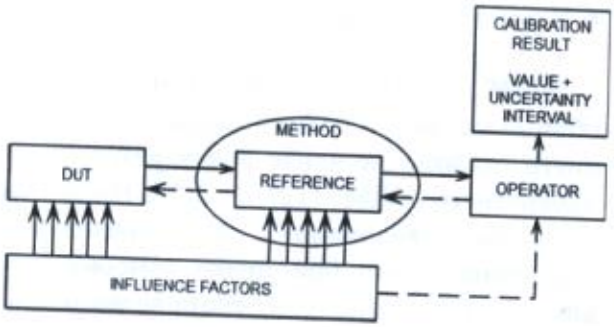

Fig. 6. Измервателен процес и неговите елементи при калибриране

При тестване и контрол (инспекция) добавяме НОРМА, която да сравним с показанието на ИЗМЕРВАТЕЛЯ. Елементите на процеса на измерване са същите.

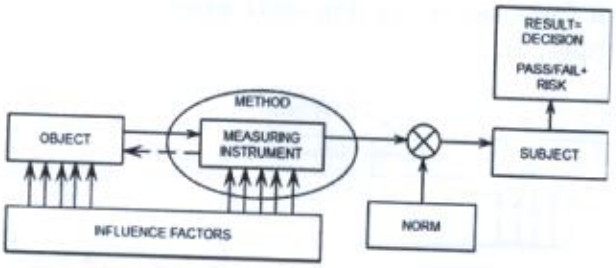

Fig. 7. Измервателен процес и неговите елементи при тестване и контрол.

В този случай резултатът е решение от типа PASS/FAIL и неопределеността на измерването отразява риска от типа α или β.

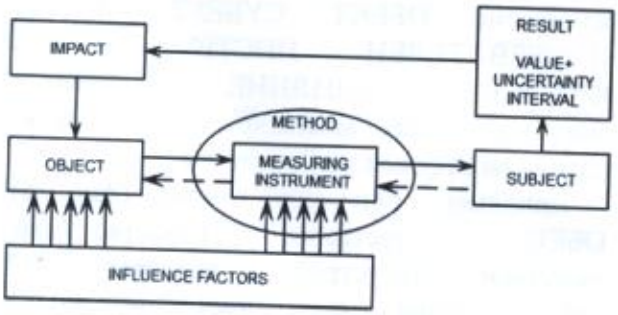

Fig. 8. Измервателен процес и неговите елементи при контрол и управление на процеси.

В случай на контрол и управление на процеси, резултатът от процеса на измерване се използва за формиране на ВЪЗДЕЙСТВИЕ върху ОБЕКТА.

Неопределеността на резултата тук се отразява върху устойчивостта (стабилността) на контрола и често води до неточна стабилизация на процеса.

6. Как източниците на GUM съответстват на елементите на процеса на измерване?

Нека накратко направим съответствие между гореспоменатите източници на GUM [2] и елементите на процеса на измерване:

а) непълно дефиниране на измерваната величина – **Неадекватност на модела**;

б) несъвършено реализиране на дефиницията на измерваната величина –**Метод**;

в) непредставителна извадка — измерената извадка може да не представлява дефинираната измервана величина – **Субект**;

г) недостатъчно познаване на влиянието на условията на околната среда върху измерването или несъвършено измерване на условията на околната среда – **Влияещи фактори**;

д) индивидуално отклонение при отчета на аналогови инструменти – **Средство за измерване**;

е) крайна разделителна способност на инструмента или праг на дискриминация – **Метод**;

ж) неточни стойности на стандарти за измерване и референтни материали – **Средство за измерване**;

з) неточни стойности на константи и други параметри, получени от външни източници и използвани в алгоритъма за редукция на данни – **Неадекватност на модела**;

и) приближения и допускания, включени в метода и процедурата на измерване – **Метод**;

й) вариации в многократни наблюдения на измерваната величина при привидно идентични условия – **Влияещи фактори**.

7. Заключение

Източниците на неопределеност се определят в процеса на измерване. Тези фракции на неопределеност формират комбинираната неопределеност и накрая се изразяват в резултата от измерването чрез разширена неопределеност.

Всеки специфичен източник на неопределеност се отнася до съответния елемент от процеса на измерване. За

метролозите е много по-лесно да започнат анализ на източниците на неопределеност с добре дефинираните и универсални пет елемента на процеса на измерване: Обект, Метод, Измервателно устройство, Субект и Влияещи фактори.

След това анализът може да бъде по-задълбочен със специфичния вид факторни проявления на всеки елемент.

Подходът при тази концепция е универсален за всички видове измервания на етапа на дефиниране на източниците на неопределеностите.

8. Литература

1. Radev H. et al., Metrology and Measuring Technique, Volume 1, Ed. 2, Softtrade, 2012.
2. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement." First edition 2008. Corrected version 2010, BIPM.
3. EA-4/02 M: 2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration.
4. K. Birch, Measurement Good Practice Guide No. 36 "Estimating Uncertainties in Testing", NPL Crown Copyright 2001, Reprinted with minor amendments March 2003, ISSN 1368-6550
5. S. Bell, Measurement Good Practice Guide No. 11 "The Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement", NPL Crown Copyright 1999, Issue 2 with amendments March 2001, ISSN 1368-6550.
6. R. Hogan Blog https://www.isobudgets.com/8-sources-of-uncertainty-in-measurement-for-every-uncertainty-budget/, accessed on 05.07.2021
7. JCGM GUM-6:2020 "Guide to the expression of uncertainty in measurement – Part 6: Developing and using measurement models" First edition 2020, BIPM.
8. Zakharov I.P., Vodotyka S.V., Shevchenko E.N. Methods, models, and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration // Measurement Techniques, Vol. 54, No. 4, 2011, p. 387-399.
9. Zakharov I.P. Measurement uncertainty: general approaches to uncertainty budget construction // Ukrainian Metrological Journal, 2004, №2, pp. 10-15.
10. Milushev, G. M, 2021, A Concept of Measurement Process-Result Duality in the Context of Measurement Uncertainty, 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), pp. 1-4.
11. N. Kolev, P. Chaushev, V. Gavrailov, "Fundamentals on metrological assurance", DI Tekhnika Sofia, 1982.
12. ISO/IEC GUIDE 99:2007 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).
13. J. R. Taylor, "An Introduction to Error Analysis", University Science Books, Sausalito, California, Second Edition, 1997 ISBN 0-935702-42-3, .p. 3-11.
14. A. S. Morris and Reza Langari, "Measurement and Instrumentation", 2012 Elsevier Inc. USA, ISBN: 978-0-12-381960-4, pp. 40-94.
15. R. H. Dieck, "Measurement Uncertainty: Methods and Applications", ISA 2007, Fourth Edition, ISBN 13:978-1-55617-915-0, pp.40-42.
16. NASA Handbook 8739.19-3, "Measurement Uncertainty Analysis Priciples and Methods", NASA, Washingthon, 2010 pp.19-57.
17. P. Fornasini, "The Uncertainty in Phisical Measuremens", Sringer 2008, ISBN 978-0-387-78649-0, p.p. 45-78
18. R. Willink, "Measurement Uncertainty and Probability", Cambridge University Press 2013, ISBN 978-1-107-02193-8, pp. 7-20
19. A. E. Fridman, "The Quality of Measurements", Translation, Springer 2012, ISBN 978-1-1614-1477-3, pp. 55-71.

Данни за авторите:

Георги Сашов Милушев, Доц. д-р инж. Електроизмервателна техника, р-тел катедра „Информационно-измервателна техника", Факултет Автоматика, ТУ-София, e-mail: gm@tu-sofia.bg, ORCID: 0000-0002-8510-3257.