

The mathematical model of the system-oriented measuring instrument

O. Velychko¹, O. Hrabovskyi²

¹ State Enterprise "All-Ukrainian State Research and Production Center for Standardization, Metrology, Certification and Consumers' Rights Protection" (SE "Ukrmetrteststandard"), Metrologichna Str., 4, 03143, Kyiv, Ukraine
velychko@ukrcsm.kiev.ua

² State University of Intellectual Technologies and Communications, Kovalska Str., 1, 65029, Odesa, Ukraine
gelond737@gmail.com

Abstract

Modern measuring instruments (MIs) are designed to obtain complete and reliable measuring information. To perform this important function, MIs must be of appropriate quality and must be reliably assessed. Using mathematical models simulate the operation of technical systems in order to decide on the optimization of its characteristics. As a result of the analysis of the model, the specific features of the studied processes and certain quantitative regularities are established. This allows to predict the processes in the system over time and determine their quantitative characteristics.

The article presents the results of mathematical modeling of system-oriented measuring instruments as a system and its software as a subsystem using the apparatus of general systems theory. Such models with its graphical interpretation allow obtaining the necessary and useful information about the properties of the MIs as a technical system. The performed modeling makes it possible to describe the functioning of the MIs and to obtain a certain assessment of quality indicators.

Keywords: set model; hardware; software; measuring instrument; influential environment.

Received: 22.04.2021

Edited: 20.05.2021

Approved for publication: 25.05.2021

1. Introduction

Modern measuring instruments (MIs) are designed to obtain complete and reliable measuring information. Obtaining such information helps to increase the reliability and competitiveness of products in all sectors of the national economy. To perform this important function, MIs must be of appropriate quality and must be reliably assessed. There is a great variety of modern MIs in terms of their purpose, scope, complexity of implementation, etc. However, they are all complex hardware and software systems, mostly using modern software [1–3].

Using of mathematical models simulate the work of technical systems in order to make decisions about optimizing its characteristics. When modeling, a mathematical model is built that have properties similar to the properties of the technical system. When replacing a complex technical system with a model, it is important to create the most representative model. As a result of the analysis of the model, the features of the studied processes and certain quantitative regularities are established. This makes it possible to predict the processes in the system over time and determine their quantitative characteristics [4, 5].

2. The mathematical model of the measuring instrument

A mathematical model of a technical system is a set of mathematical objects (numbers, scalar variables,

vectors, matrices, graphs, etc.) and their connecting relations that reflect the properties of the modeled technical system. Block-hierarchical approach to the analysis of complex technical systems is used in the construction of hierarchical levels of mathematical models for the system under consideration. At each hierarchical level of design there are concepts of mathematical models of the system, subsystems and elements of the system. This approach can be used for mathematical modeling of modern measuring instruments.

The general method of obtaining a mathematical model includes the following procedures: determining the properties of the system that should reflect the model; collection of initial information about the selected properties of the system; obtaining the structure of the model, namely mathematical expressions and equations that describe in general terms the relationship between phase variables and system parameters; calculation of numerical values of parameters of mathematical model for the set system; assessment of the accuracy and adequacy of the model.

Fig. 1 presents a generalized structure of the system-oriented measuring instrument,

where $X(t)$ is input signal from the measurement object;

$Y_{ind}(t)$ and $Y_{dir}(t)$ are measuring instrument input signal for indication device and data interface, respectively;

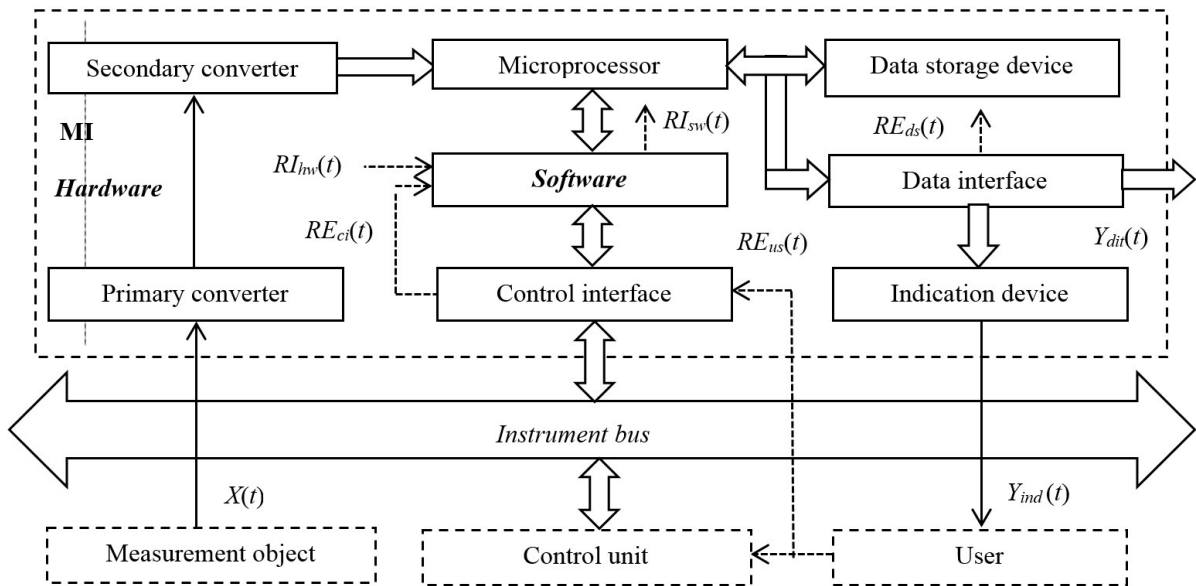


Fig. 1. The general structure of the system-oriented measuring instrument

$RE_{us}(t)$, $RE_{ds}(t)$ and $RE_{ci}(t)$ are external influences on the measuring instrument of user, data storage device and control interface, respectively;

$RI_{hw}(t)$ and $RI_{sw}(t)$ are internal influences on the functioning of measuring instrument hardware and software implementation, respectively.

Measurement results can be obtained in two ways: through the measuring instrument interface or through a special instrument bus.

In the general case, the model of various influences on system-oriented measuring instrument has the form shown in Fig. 2.

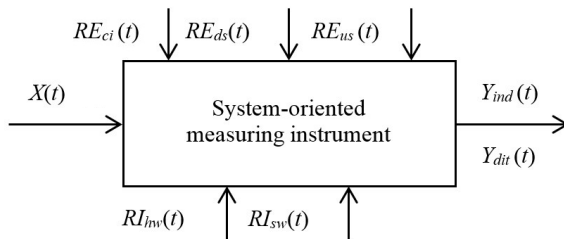


Fig. 2. Model of influences on system-oriented measuring instrument

Fig. 3 presents a graphical representation of the mathematical model of the system-oriented measuring instrument using general systems theory,

where S_{MI} is system-oriented measuring instrument; SS_{hw} and SS_{sw} are hardware and software subsystems of the measuring instrument respectively;

SSE_{de} , SSE_{if} , and SSE_{ds} are elements of the communication device, interfaces, and data storage device of the hardware subsystem, respectively;

RI_{de} , RI_{if} , and RI_{ds} are subsystems of mutual internal influences of the data exchange device, interfaces, and data storage device between hardware and software subsystems respectively;

RE_{us} , RE_{ds} , and RE_{ci} are subsystem of external influences on the measuring instrument of user, data storage device and control interface, respectively.

Taking into account all the components shown in Fig. 3, the expression for system-oriented measuring instrument as a complex technical system [6, 7] will take the form with using general theory of systems:

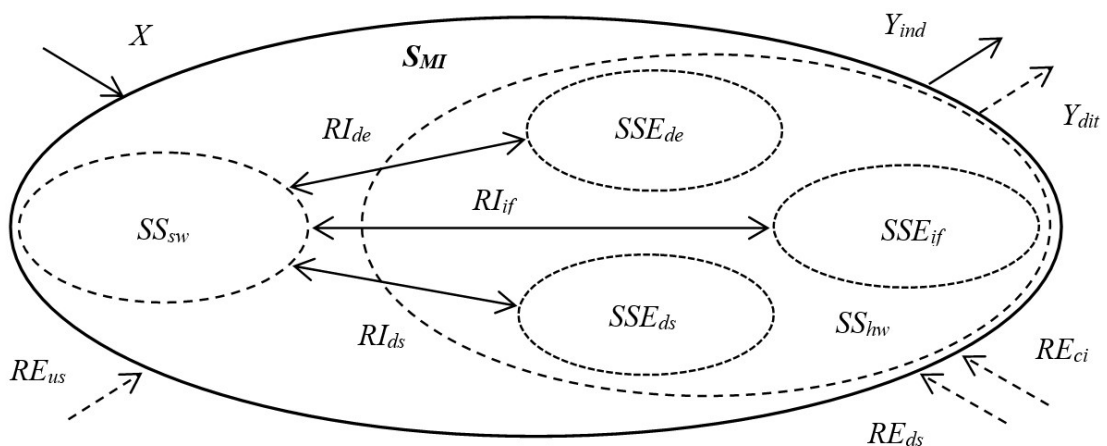


Fig. 3. Graphical representation of the model of system-oriented measuring instrument

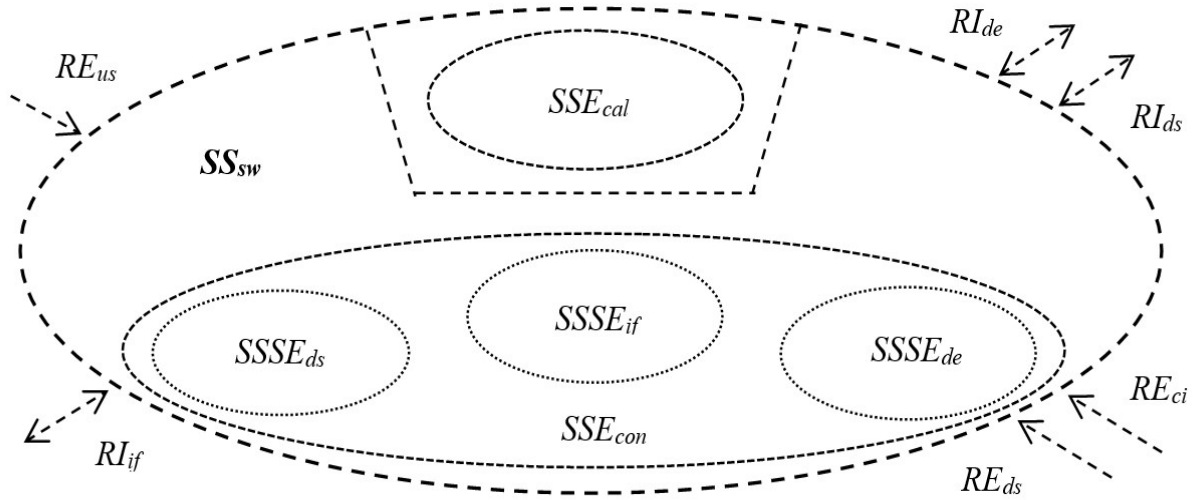


Fig. 4. Graphical representation of the model of the software subsystem of measuring instrument

$$S_{MI} \equiv \langle SS_{hw}, SS_{sw}, R_{hsw}, Z_{hw}, Z_{sw}, \Delta T_{MI} \rangle, \quad (1)$$

where R_{hsw} is a subsystem of interconnections between hardware and software subsystems;

Z_{hw} and Z_{sw} are subsystems of the established sets of the purposes of functioning of hardware and software subsystems accordingly;

ΔT_{MI} is period during which the modification of the measuring instrument operates for its intended purpose.

Expressions for hardware and software subsystems have the form, respectively:

$$SS_{hw} \equiv \langle SSE_{de}, SSE_{if}, SSE_{ds}, RI_{de}, RI_{if}, RI_{ds}, Z_{hw}, \Delta T_{MI} \rangle, \quad (2)$$

$$SS_{sw} \equiv \langle SSE_{con}, SSE_{cal}, RI_{de}, RI_{if}, RI_{ds}, RE_{us}, RE_{ci}, RE_{ds}, Z_{sw}, \Delta T_{MI} \rangle, \quad (3)$$

where SSE_{con} and SSE_{cal} are device control elements and the calculation of the measurement result of the software subsystem, respectively.

3. The mathematical model of the measuring instrument software

Let's build a mathematical model of the measuring instrument software as one of its important parts, using the expression (3).

Fig. 4 presents a graphical representation of the mathematical model of the software subsystem of measuring instrument using general systems theory, where $SSSE_{de}$, $SSSE_{ds}$, and $SSSE_{if}$ are subelements of the control data exchange, data storage, and interfaces of control element, respectively.

Fig. 4 shows also the division of the software into the metrological important part (SSE_{cal}) and its other part (SSE_{con}). The analysis of such a division remains software guides [8, 9].

Taking into account all the components shown in Fig. 4 and expression (3), the expression for software subsystem of measuring instrument will take the form using general theory of systems:

$$SS_{sw} \equiv \langle SSE_{cal}, SSSE_{de}, SSSE_{if}, SSSE_{ds}, RI_{de}, RI_{if}, RI_{ds}, RE_{us}, RE_{ci}, RE_{ds}, Z_{sw}, \Delta T_{MI} \rangle. \quad (4)$$

Taking into account expression (4), subelements $SSSE_{de}$ (control data exchange), $SSSE_{ds}$ (data storage), and $SSSE_{if}$ (interfaces) are subject to special verification. Such verification is also provided for by document [3].

4. Conclusion

For mathematical modeling of system-oriented measuring instruments as system and their software as subsystem, the apparatus of the general theory of systems can be used. Such models with their graphic interpretation make it possible to obtain the necessary and useful information about the properties of a measuring instrument as a technical system even at the stage of its design. Mathematical modeling makes it possible using mathematical symbols and dependencies to make a description of the functioning of the technical system and to obtain an assessment of quality indicators.

Математична модель системно-орієнтованого засобу вимірювання

О.М. Величко¹, О.В. Грабовський²

¹ ДП "Укрметртестстандарт", вул. Метрологічна, 4, 03143, Київ, Україна
velychko@ukrcsm.kiev.ua

² Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, вул. Ковальська, 1, 65029, Одеса, Україна
gelond737@gmail.com

Анотація

Сучасні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) призначені для отримання повної та надійної вимірювальної інформації. Отримання такої інформації сприяє підвищенню надійності та конкурентоспроможності продукції у всіх секторах національної економіки. Для виконання цієї важливої функції ЗВТ повинні бути відповідної якості та надійно оцінені. Сучасних ЗВТ існує велика різноманітність за їх призначенням, обсягом, складністю реалізації тощо. Однак усі вони є складними апаратними й програмними системами, переважно із застосуванням сучасного програмного забезпечення.

За допомогою математичних моделей моделюють роботу технічних систем із метою прийняття рішення про оптимізацію її характеристик. При моделюванні будується математична модель, яка має властивості, подібні до властивостей технічної системи. Замінюючи складну технічну систему на модель, важливо створити найбільш репрезентативну модель. У результаті аналізу моделі встановлюються особливості досліджуваних процесів та певні кількісні закономірності. Це дає змогу прогнозувати процеси в системі з часом та визначити їх кількісні характеристики.

Наведено результати математичного моделювання системно-орієнтованих вимірювальних приладів як системи та їх програмного забезпечення як підсистеми з використанням апарату загальної теорії систем. При побудові ієрархічних рівнів математичних моделей для ЗВТ використано блочно-ієрархічний підхід. На кожному ієрархічному рівні використані поняття моделей системи, підсистем та елементів системи. Такі моделі з їх графічною інтерпретацією дозволяють отримати необхідну та корисну інформацію про властивості ЗВТ як технічної системи навіть на етапі його проектування. Проведене моделювання дає змогу за допомогою математичних символів і залежностей зробити опис функціонування ЗВТ та отримати певну оцінку показників якості.

Ключові слова: множинна модель; апаратне забезпечення; програмне забезпечення; засіб вимірювання; впливне середовище.

Математическая модель системно-ориентированного средства измерения

О.Н. Величко¹, О.В. Грабовский²

¹ ГП "Укрметртестстандарт", ул. Метрологическая, 4, 03143, Киев, Украина
velychko@ukrcsm.kiev.ua

² Государственный университет интеллектуальных технологий и связи, ул. Ковальская, 1, 65029, Одесса, Украина
gelond737@gmail.com

Аннотация

Современные средства измерительной техники (СИТ) предназначены для получения полной и надежной измерительной информации. Для выполнения этой важной функции СИТ должны быть соответствующего качества и должны быть надежно оценены. С помощью математических моделей моделируют работу технических систем с целью принятия решения об оптимизации ее характеристик. В результате анализа модели устанавливаются особенности исследуемых процессов и определенные количественные закономерности.

В статье приведены результаты математического моделирования системно-ориентированных измерительных приборов как системы и их программного обеспечения как подсистемы с использованием аппарата общей теории систем. Такие модели с их графической интерпретацией позволяют получить необходимую и полезную информацию о свойствах СИТ как технической системы даже на этапе его проектирования. Проведенное моделирова-

ние позволяет с помощью математических символов и зависимостей сделать описание функционирования СИТ и получить определенную оценку показателей качества.

Ключевые слова: множественная модель; аппаратное обеспечение; программное обеспечение; средство измерений; влияющая среда.

References

1. WELMEC 4.2. Elements for deciding the appropriate level of confidence in regulated measurements. (Accuracy classes, MPE in-service, nonconformity, principles of uncertainty). 2006. 12 p.
2. WELMEC 8.2. Measuring Instruments Directive 2014/32/EU Application of Module H1. 2018. 20 p.
3. OIML D 31. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. 2019. 62 p.
4. Cain J.W. Mathematical Models in the Sciences. *Molecular Life Sciences*, Springer, New York, NY, 2014. 6 p. doi: 10.1007/978-1-4614-6436-5_561-1
5. Buntova E.V. Modelirovanie tehniceskikh sistem [Modeling of technical systems]. *International Journal of Applied and Basic Research*, 2016, no. 5 (part 5), pp. 709–717 (in Russian).
6. Velychko O.M. Systema standartyzatsii natsionalnoi metrologichnoi systemy u globalnomu zovnishniomu seredovyschi [The system of standardization of the national metrological system in the global environment]. *Systemy obrobky informatsii*, 2006, issue 6 (55), pp. 18–32 (in Ukrainian).
7. Velychko O.M., Kolomiets L.V., Gordiyenko T.B. Metody optimizatsii ierarhichnyh system u metrologii ta standartyzatsii: teoria i praktyka [Methods of optimization of hierarchical systems in metrology and standardization: theory and practice]. Odesa, VMV, 2010. 250 p. (in Ukrainian).
8. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU). 2020. 148 p.
9. WELMEC 7.3. Reference Architectures Based on WELMEC Guide 7.2. 2020. 28 p.