
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 658.562:681.3

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ

© 2019 Э.И. Цветков *, Ю.П. Муха **, И.Ю. Королева **, А.Д. Королев **

**Государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), Санкт-Петербург, Россия*

***Волгоградский Государственный Технический Университет, Волгоград, Россия*

Развитие измерительных технологий порождает соответствующие проблемы при проведении метрологических испытаний. В частности, появляется потребность в учете влияния используемого интерфейса на свойства погрешностей результатов измерений. Появление погрешностей датирования – следствие все более широкого распространения многофункциональных измерительных средств, порождает потребность разработки соответствующих процедур метрологического анализа, включая метрологические испытания. Поэтому актуальна проблема совершенствования метрологических испытаний измерительных систем в целом и их подсистем. Научная новизна состоит в разработке алгоритма испытаний и выводе оценочных соотношений, связанных с определением вероятностных характеристик соответствующих погрешностей. Практическая значимость состоит в разработке структурной схемы испытательного эксперимента. Инновационная ценность заключается в возможности синтеза испытательных методик для аттестации измерительных подсистем и измерительных систем в целом, учитывающих погрешности датирования в рамках погрешностей сдвига.

Ключевые слова: измерительные технологии, метрологические испытания, метрологический анализ, погрешность результатов измерений, погрешность датирования, сложная измерительная система, измерительная подсистема, вероятностная характеристика погрешности, метрологическая надежность, гибкий интеллектуальный интерфейс

Поступила в редакцию 20.05.2019

После доработки 23.05.2019

Принята к публикации 24.05.2019

ВВЕДЕНИЕ

Развитие измерительных технологий порождает соответствующие проблемы при проведении метрологических испытаний. В частности, появляется потребность в учете влияния используемого интерфейса на свойства погрешностей результатов измерений. Действительно, в многофункциональной информационной системе передача информации от одной подсистемы к другой (например, передача результатов измерения для их использования при формировании управляющих воздействий) повышает роль так называемых погрешностей датирования [1-2], что порождает необходимость определенной трансформации метрологических испытаний для обеспечения возможной достоверности результатов аттестации и верификации.

Появление погрешностей датирования – следствие все более широкого распространения многофункциональных измерительных средств, порождает потребность разработки соответствующих процедур метрологического анализа, включая метрологические испытания. Появление погрешностей сдвига, обусловленных конечностью быстродействия цифровых устройств (интерфейсных блоков), в том числе [3], влияет не только на точность получаемых результатов измерений, но и на

организацию метрологических испытаний, проводимых при аттестации и верификации соответствующих средств измерений.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Поскольку метрологические испытания составляют неотъемлемую часть процедуры подготовки измерительного средства к получению результатов, удовлетворяющих требованиям системы обеспечения единства измерений, ими должны быть охвачены все ситуации, в которых предполагается его использование. Традиционно к характеристикам возможных ситуаций относятся род измеряемой величины, требования к характеристикам погрешностей результатов измерений и, наконец, условия (нормальные, в которых влияющие факторы не учитываются, и аномальные, в которых требуется учитывать изменение характеристик погрешностей в зависимости от влияющих факторов). К влияющим факторам относят характеристики условий проведения измерений – температура и влажность окружающей среды, давление и др. Рост требований к адекватности результатов метрологических испытаний реальным характеристикам измерительных средств приводит к необходимости введения в рассмотрение и использования новых влияющих факторов. Так, при установлении характеристик метрологической надежности необходимо анализировать зависимость метрологических характеристик средства и получаемых с его помощью результатов от длительности и условий эксплуатации, результаты измерения вероятностных характеристик случайных процессов существенно зависят от степени незродичности последних и т.п.

ИСПЫТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ

Как известно ([3]), погрешности датирования, обусловленные конечностью быстродействия используемого интерфейса, определяются соотношением по формуле (1):

$$\Delta_{\text{ДАТ}} \lambda_j^* = \lambda_j(t_j + \Delta t_{\text{ИЗМ}}) - \lambda_j(t_j + \Delta t_{\text{ИЗМ}} + \Delta t_{\text{СДj}}), \quad (1)$$

т.е. определяется временем сдвига – временем, затрачиваемым интерфейсом на перенос результата измерений во входной регистр канала, использующего этот результат, и изменением измеряемой величины на этом интервале, поскольку действует формула (2):

$$\Delta t_{\text{СДj}} = t_{\text{jП}} - t_{\text{jФ}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{jФ}}$ – момент формирования результата измерений;

$t_{\text{jП}}$ – момент представления результата измерения пользователю.

Погрешность датирования в той ее части, которая связана с конечностью быстродействия используемого интерфейса, в предположении линейного изменения измеряемой величины $\lambda_j(t) = \lambda_j + k_j \cdot (t - t_j)$ на интервале измерений, может быть представлена формулой (3):

$$\Delta_{\text{ДАТ}} \lambda_j^* = -k_j \Delta_{\text{СДj}}, \quad (3)$$

где k_j – производная, характеризующая линейное изменение измеряемой величины во времени.

Как уже было отмечено, погрешности датирования имеют ряд особенностей, обусловленных характером их формирования, что необходимо учитывать при синтезе процедуры метрологических испытаний.

Из приведенных соотношений видно, что погрешности датирования определяются скоростью изменения измеряемой величины и временем сдвига. В свою очередь время сдвига определяется характеристиками интерфейса и текущим режимом работы информационной системы, в состав которой входит измерительное средство. Это вытекает из того, что режимом работы определяются выполняемые интерфейсом функции. Соответственно меняются и характеристики временного сдвига. Очевидно, что при решении одной конкретной задачи (например, управление технологическим процессом), характеристики временного сдвига $\Delta t_{сд}$ будут отличаться от соответствующих характеристик при обеспечении интерфейсом нескольких функций (управление несколькими технологическими процессами, принятие решений об изменении технологического процесса и т.п.).

Характерным примером в этом отношении является гибкий интеллектуальный интерфейс (ГИИ) [4-7]. Его структура приведена на рисунке 1.

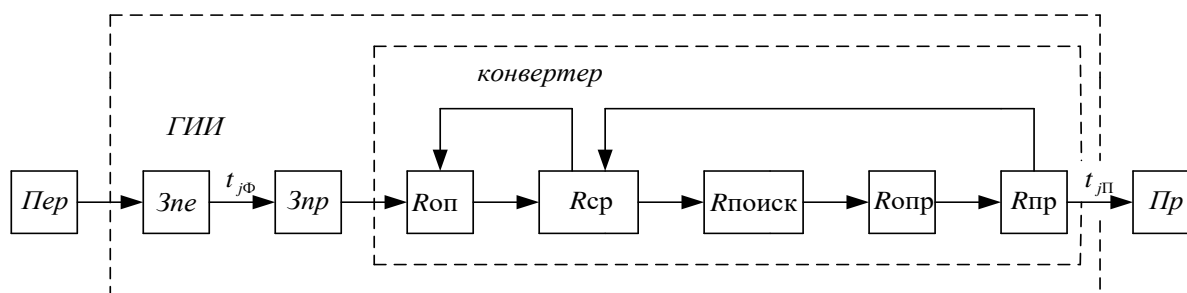


Рисунок 1 – Блок-схема ГИИ ($З_{пр}$ – блок запроса приемника; $З_{пе}$ – блок запроса передатчика; Пр – блок приема; ($R_{опр}$) – блок определения систем кодирования источника и приемника; ($R_{ср}$) – блок сравнения; ($R_{поиск}$) – блок поиска; ($R_{оп}$) – блок оптимизации; ($R_{пр}$) – блок преобразования; ($R_{пров}$) – блок проверки; Пер – блок передачи) [Flowchart flexible intelligent interface ($З_{пр}$ – receiver request block; $З_{пе}$ – transmitter request unit; Пр – receiving unit; ($R_{опр}$) – source and receiver coding system detection unit; ($R_{ср}$) – comparison block; ($R_{поиск}$) – search block; ($R_{оп}$) – optimization block; ($R_{пр}$) – conversion unit; ($R_{пров}$) – check block; Пер – transmission unit)]

В начале работы алгоритма конвертации выполняется проверка текущего состояния, то есть реализуется ли режим функционирования или режим обучения. Режим обучения связан с обучением нейронной сети распознавать, по заранее заготовленным эталонным сообщениям, различные форматы кодирования. Этот режим обязательно должен быть реализован ранее режима функционирования. Иначе ГИИ не сможет выполнить распознавание пришедшего от передатчика сообщения.

Режим функционирования связан с выполнением всех функций ГИИ: распознает пришедшую информацию, выполняет сравнения систем представления информации приемника и передатчика и дальнейшее преобразование этих систем. После

конвертации выполняется сравнение преобразованного файла с первоначально принятым. Это реализуется с помощью алгоритма перцептивного хэша [4].

При этом работа ГИИ осуществляется циклически и новый цикл не может быть начат, пока не завершен предыдущий.

Шаги R_i реализуются на базе электронных компонентов, составляющих конкретные структуры микроконтроллеров, образующих их электронный состав. Таким образом, ГИИ выполняет совокупность сложных преобразований сформированной информации, что и определяет появление дополнительного временного сдвига и погрешности датирования. Особенности формирования погрешности датирования делают целесообразным рассматривать операцию временного сдвига результата измерений, обусловленного конечностью быстродействия интерфейса, как измерительное преобразование, завершающее процедуру измерений. Таким образом, если последовательность операций формирования результата измерений представляется уравнением (4) [8]:

$$\lambda_j^* = R_m \cdots R_1 \gamma, \quad (4)$$

то последовательность операций с учетом вносимого интерфейсом временного сдвига представляется уравнением (5):

$$\lambda_j^* = R_{\text{пер}i} \cdots R_1 \gamma, \quad (5)$$

где $R_{\text{пер}i}$ – оператор, представляющий реализуемое интерфейсом преобразование при i -ом режиме работы информационной системы, составной частью которой является измерительная подсистема.

Таким образом, специфической особенностью полной погрешности, включающей в себя погрешность датирования, является сравнение получаемых результатов измерений $\lambda_j^*(t_j + \Delta t_{\text{изм}})$ не с истинными значениями в момент формирования результата $t_j + \Delta t_{\text{изм}}$, а с истинным значением $\lambda_j(t_j + \Delta t_{\text{изм}} + \Delta t_{\text{сд}})$ в момент представления результата – $t_j + \Delta t_{\text{изм}} + \Delta t_{\text{сд}}$. При этом характеристики $\Delta t_{\text{сд}}$ зависят от режима работы информационной системы. Соответственно последовательности операций, выполняемых при проведении метрологических испытаний, приобретают вид, представленный на рисунке 2.

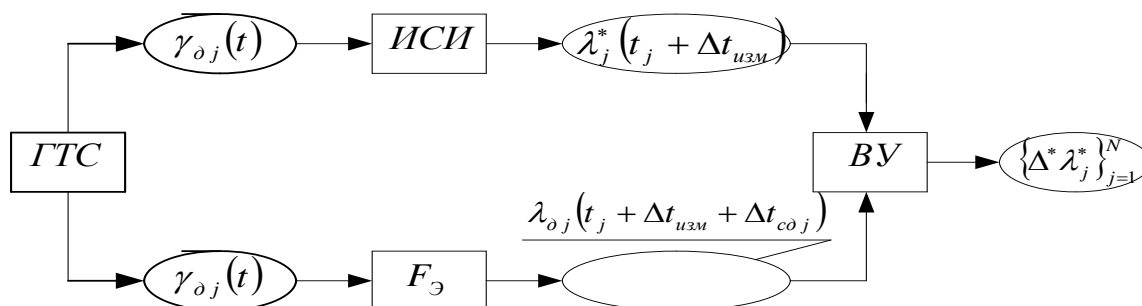


Рисунок 2 – Схема метрологических испытаний (ГТС – генератор тестовых сигналов; ИСИ – испытываемое средство измерений; ВУ – вычитающее устройство) [The scheme of metrological tests (ГТС – generator of test signals; ИСИ – the test instrument of measurement; ВУ – subtractive device)]

Процедуру установления вероятностной характеристики полной погрешности $\Theta [\Delta \lambda_j^*]$, включающей в себя погрешность датирования, можно представить следующей последовательностью отображений (6):

$$A3 \rightarrow \{\Delta^* \lambda_j^* = \lambda_j^* - \lambda_{dj}^*\}_{j=1}^N \rightarrow \Theta^* [\Delta_{\text{дат}} \lambda_j^*] = \sum_{j=1}^N g[\Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^*] / N. \quad (6)$$

При необходимости определяются вероятности погрешности датирования (7):

$$A3 = (\Delta_{\text{дат}} \lambda_j^* = -k_j \Delta t_{\text{сд}j}, k_j^* = (\lambda_j^* - \lambda_{j-1}^*) / \Delta t_{\text{изм}}, \Delta^* t_{\text{сд}j} = t_{j\text{п}}^* - t_{j\text{ф}}^*, \Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^* = k_j^* \Delta^* t_{\text{сд}j}, \Delta t_{\text{изм}}, \Theta^* [\Delta_{\text{дат}} \lambda_j^*] = \sum_{j=1}^N g[\Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^*] / N) \rightarrow \{\lambda_{j-1}^*, \lambda_j^*\}_{j=1}^N \rightarrow \{k_j^*, \Delta^* t_{\text{сд}j}\}_{j=1}^N \rightarrow \{\Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^*\}_{j=1}^N \rightarrow \Theta^* [\Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^*] = \sum_{j=1}^N g[\Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^*] / N \quad (7)$$

($\Delta t_{\text{изм}}$ – время, затрачиваемое на одно измерение, $g[\Delta_{\text{дат}}^* \lambda_j^*]$ – преобразование, лежащее в основе определения вероятностной характеристики $\Theta [\Delta \lambda_j^*]$).

Результаты (6) и (7) относятся к фиксированному режиму работы информационной системы. Соответственно метрологические испытания должны охватывать все возможные режимы с определением вероятностных характеристик соответствующих погрешности [9-11].

Модель функционирования виртуальной информационной системы в фиксированном режиме представлена на рисунке 3.

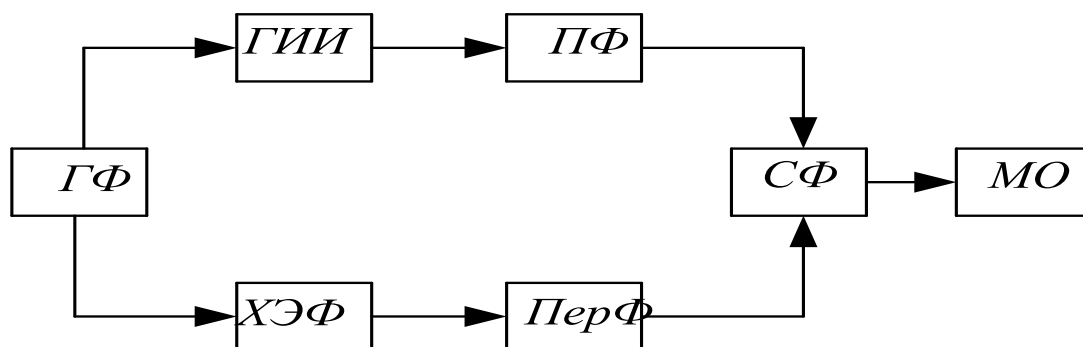


Рисунок 3 – Структурная схема испытательного эксперимента (ГФ – генератор файла; ГИИ – гибкий интеллектуальный интерфейс; ПФ – преобразованный файл; ХЭФ – хранение эталонного файла; ПерФ – переданный файл; СФ – сравнение файлов; Мо – множество отличий в сравниваемых файлах) [Block diagram of the test experiment (ГФ – file generator; ГИИ - flexible intelligent interface; ПФ – converted file; ХЭФ – storage of reference file; ПерФ – transferred file; СФ – file comparison; Мо – many differences in compared files)]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, появление погрешности датирования требует существенной трансформации метрологических испытаний измерительных подсистем в целях учета изменения действительного значения измеряемой величины, во-первых, и зависимости

вероятностных характеристик погрешностей от режима работы информационной системы, во-вторых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муха, Ю.П. Особенности коррекции погрешностей датирования [Текст] / Ю.П. Муха, Э.И. Цветков, И.Ю. Королева, А.Д. Королев // Телекоммуникации. – 2018. – № 4. – С. 32-39.
2. Муха, Ю.П. Погрешности датирования телекоммуникационных систем измерения [Текст] / Ю.П. Муха, Э.И. Цветков, И.Ю. Королева, А.Д. Королев // Телекоммуникации. – 2017. – № 6. – С. 43-48.
3. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016616056 от 3 июня 2016 г. Российская Федерация. Гибкий интеллектуальный интерфейс (ГИИ) / Ю.П. Муха, А.Д. Королев. – ВолгГТУ. – 2016.
4. Муха, Ю.П. Погрешность датирования (сдвига) результатов измерений и ее связь с характеристиками интерфейса [Текст] / Ю. П. Муха, Э.И. Цветков, И.Ю. Королева // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 2 (19). – С. 50-58.
5. Муха, Ю.П. Синтез алгоритма управления ГИИ для систем технического зрения [Текст] / Ю.П. Муха, И.Ю. Королева, А.Д. Королев // Телекоммуникации. – 2016. – № 1. – С. 7-12.
6. Муха, Ю.П. Гибкий интеллектуальный интерфейс для систем передачи медицинской информации [Текст] / Ю.П. Муха, И.Ю. Королева, А.Д. Королев // Prospero: науч. журнал. – 2015. – № 5 (17). – С. 59-61.
7. Муха, Ю.П. Разработка гибкого интерфейсного блока на базе GHI G-400D [Текст] / Ю.П. Муха, А.Д. Королев // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание : материалы XII междунар. науч.-техн. конф. Курск, 12-16 мая 2015 г. – Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2015. – С. 269-270.
8. Цветков, Э.И. Основы математической метрологии [Текст] / Э.И. Цветков. – Санкт-Петербург : Политехника, 2005. – 510 с.
9. Цветков, Э.И. Метрология. Модели. Метрологический анализ. Метрологический синтез [Текст] / Э.И. Цветков. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 293 с.
10. Цветков, Э.И. Метрологические испытания без применения эталонов [Текст] / Э.И. Цветков // Мир измерений. – 2016. – С. 12-18.
11. Боброва, М.Н. Метрологические испытания средств измерений вероятностных характеристик случайных процессов [Текст] / М.Н. Боброва, Е.С. Сулоева, А.В. Царева, Э.И. Цветков // Материалы XXI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. Санкт-Петербург, 23-25 мая 2018 г. – Санкт-Петербург : ЛЭТИ, 2018. – Т. 1. – С. 62-65.

REFERENCES

- [1] Mucha Y.P., Cvetkov E.I., Koroleva I.Y., Korolev A.D. Osebnosti korrektsii pogreshnosti datirovaniya [Features of correction of errors of dating] [Telecommunications]. 2018. № 4. P. 32-39 (in Russian).
- [2] Mucha Y.P., Cvetkov E.I., Koroleva I.Y., Korolev A.D. Pogreshnosti datirovaniya telekommunikatsionnih sistem izmereniya [Errors of Dating of Telecommunication Systems of Measurement] [Telecommunications]. 2017. № 6. P. 43-48 (in Russian).
- [3] Mucha Y.P., Korolev A.D. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmi dlya EVM № 2016616056 ot 3 iunya 2016. Gibkii intellektualnii interfeis [Certificate on the State Registration of the Computer Program № 2016616056, June 3, 2016, Russian Federation. Flexible Intellectual Interface] Volgograd State Technical University. 2016 (in Russian).
- [4] Mucha Y.P., Cvetkov E.I., Koroleva I.Y. Pogreshnost datirovaniya (sdviga) rezultatov izmerenii i svyaz s kharakteristikami interfeisa [Error of Dating (Shift) of Results of Measurements and its Communication with Characteristics of the Interface] [Global Nuclear Safety]. 2016. №2 (19). P. 50-58 (in Russian).
- [5] Mucha Y.P., Koroleva I.Y., Korolev A.D. Sintez algoritma upravleniya GII dlya sistem tekhnicheskogo zreniya [Synthesis of a Control Algorithm of GII for the Systems of Technical Sight] [Telecommunications]. 2016. № 1. P. 7-12 (in Russian).
- [6] Mucha Y.P., Koroleva I.Y., Korolev A.D. Gibkii itellektulnii interfeis dlya system peredachi medicinskoj informacii [The Flexible Intelligent Interface for Transmission Systems of medical Information] [Prospero]. 2015. № 5 (17). P. 59-61(in Russian).
- [7] Mucha Y.P., Korolev A.D. Razrabotka gibkogo interfejsnogo bloka na baze GHI G-400D [Development of the Flexible Interface Block on the Basis of GHI G-400D.]. Optiko-e`lektronny`e

- pribory i ustrojstva v sistemax raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simbol'noj informacii. Raspoznavanie : materialy XII mezhdunar. nauch.-texn. konf. Yugo-Zapadnyj gos. un-t [Optical-Electronic Devices and Devices in the Systems of Recognition of Images, Processings of Images and Symbolical Information. Recognition XII International Scientifically Technical Conference. Kursk. Southwest state university]. Kursk. 12-16 may 2015. P. 269-270 (in Russian).
- [8] Cvetkov E.I. Osnovi matematicheskoi metrologii [Fundamentals of Mathematical Metrology]. St. Petersburg. Politehnika. 2005. 510 p. (in Russian).
- [9] Cvetkov E.I. Metrologiya. Modeli. Metrologicheskii analiz. Metrologicheskii sintez. [Metrology. Models. Metrological Analysis. Metrological Synthesis]. St. Petersburg State Electrotechnical University. 2014. 293 p. (in Russian).
- [10] Cvetkov E.I. Metrologicheskie ispitaniya bez primeneniya etalonov [Metrological Tests without Application of Standards] [World of Measurements]. 2016. P.12-18 (in Russian).
- [11] Bobrova M.N., Suloeva E.S., Careva A.V., Cvetkov E.I. Metrologicheskie ispytaniya sredstv izmerenij veroyatnostnyx xarakteristik sluchajnyx processov [Metrological Tests of Measuring Instruments of Probabilistic Characteristics Of Accidental Processes]. Materialy XXI Mezhdunarodnoj konferencii po myagkim vychisleniyam i izmereniyam. LE'TI [XXI International Conference on Soft Calculations and Measurements. St. Petersburg State Electrotechnical University]. St. Petersburg. 23-25 may 2018. Vol.1. P.62-65 (in Russian).

Metrological Tests of Measuring Subsystems

E.I. Cvetkov^{*1}, Yu.P. Mucha^{2}, I.Y. Koroleva^{**3}, A.D. Korolev^{**4}**

^{}State Electrotechnical University (LETI), St. Petersburg, Russia, post office box 654 (Information-measuring systems and technologies, Russia, 197046, St. Petersburg, PO Box 654)*

¹ORCID ID: 0000-0001-8733-713X

Wos Researcher ID: O-4592-2019

e-mail: er-cvetkov@mail.ru

*^{**}Volgograd State Technical University, etc. to them. Lenin, 28, (8442) Volgograd, Russia 400005*

²ORCID ID: 0000-0003-0919-5732

Wos Researcher ID: M-4084-2015

e-mail: muxaup@mail.ru

³ORCID ID: 0000-0002-9185-6976

Wos Researcher ID: N-4037-2015

e-mail: artmd64@rambler.ru

⁴ORCID ID: 0000-0003-2175-2204

Wos Researcher ID: G-21091-2017

e-mail: artmd64@mail.ru

Abstract – Development of measuring technologies creates the corresponding problems when carrying out metrological tests. In particular, the need for taking note of the used interface on properties of errors of results of measurements appears. Emergence of errors of dating is a consequence of more and more wide circulation of multipurpose measuring means generates requirement of development of the corresponding procedures of the metrological analysis, including metrological tests. Therefore, the problem of improvement of metrological tests of measuring systems in general and their subsystems is relevant. The scientific novelty consists in development of an algorithm of tests and a conclusion of the estimated ratios connected with definition of probabilistic characteristics of the corresponding errors. The practical importance consists in development of the block diagram of a test experiment. Innovative value consists in a possibility of synthesis of test techniques for certification of the measuring subsystems and measuring systems in general considering dating errors within shift errors.

Keywords: measuring technology, metrological tests, metrological analysis, measurement error, the error of dating, complex measuring system, measuring subsystem, probabilistic characteristic of an error, metrological reliability, flexible intelligent interface.