

УДК 006

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-221-228

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДОБРОТНОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ

Надежда Анатольевна Вихарева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: milana-maria@mail.ru

В статье рассмотрено метрологическое обеспечение предприятий эталонными средствами измерений добротности и индуктивности, что весьма актуально для нашей страны. Производство данных средств измерений (мер) и утверждение их типа является в настоящее время эффективным решением этой проблемы. Рассмотрены технические устройства, разрабатываемые Западно-Сибирским филиалом ФГУП «ВНИИФТРИ», которые выступают в качестве эталона, предназначенного для воспроизведения ряда значений индуктивности и добротности в диапазоне частот от 0,1 до 1 000 кГц. Предлагаемый диапазон частот у разрабатываемых мер гораздо выше, чем у других средств, предназначенных для измерения добротности и индуктивности. Рассматриваемые эталонные средства включены в сферу государственного регулирования. Проведен сравнительный анализ их характеристик с характеристиками известных технических устройств для данного вида измерений. Приведены результаты испытаний, которые показали, что частотная применимость меры LQ-2408-3 значительно выше ранее выпускаемых мер P596 и 1482 и соответствует рабочим эталонам 1-го разряда в соответствии с поверочной схемой по индуктивности и добротности.

Ключевые слова: добротность, индуктивность, средства измерения, мера, эталон, поверка, измерение, метрологическое обеспечение

Введение

Метрологическое обеспечение производства в области электрических измерений включает в себя создание новых технических устройств и методов оценки их метрологических характеристик, что связано с развитием элементной базы для радиоэлектроники, основанной на новых материалах и технологиях [1]. Известно, что уровень развития радиоэлектроники во многом определяется состоянием ее компонентной базы, которая, в свою очередь, базируется на современных материалах. Самыми простыми, но наиболее прецизионными массовыми компонентами этой базы являются L , C , R элементы. Поэтому предьяв-

ляются высокие требования к точности, универсальности и быстродействию аппаратуры, необходимой для контроля параметров L , C , R элементов [2, 3]. Исследование параметров компонентов электрических свойств цепи необходимо для оценки производных и основных ее характеристик [4–6].

Соотношение рассеянной и запасенной энергий определяется добротностью, которая численно соответствует произведению 2π и отношению энергий, запасенных за один период, к максимальной мгновенной энергии [7, 8]. Индуктивность L является одним из основных параметров, характеризующие свойства катушки, обмоток трансформаторов и дросселей. Катушки с индуктивностью от сотых до-

лей микрогенри до десятков миллигенри используются в высокочастотных цепях.

Для измерения индуктивности электрических цепей применяется измеритель индуктивности. Действие измерителя индуктивности основано на тех же методах измерений, что и действие емкости измерителя [9].

Эталоны и меры индуктивности и добротности

В России были разработаны Государственные первичные эталоны единиц электрической добротности и индуктивности [10]. На базе Западно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» (до 2020 г. – ФГУП «СНИИМ») в 2013 г. был разработан и утвержден Государственный первичный эталон электрической добротности (ГЭТ 139–2013). Общий вид эталона добротности показан на рис. 1. Данный эталон предназначен для передачи и хранения единицы электрической добротности рабочим эталонам первого и второго разрядов в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.868 [11].



Рис. 1. Государственный первичный эталон единицы добротности

Единица электрической добротности воспроизводится эталонным колебательным контуром по двум полосам пропускания, соответствующим двум уровням напряжения в колебательном контуре с точно измеренным отношением этих напряжений [4].

Применяется эталон для точных измерений электрической добротности в производственной деятельности и в научных исследованиях, в частности, в электро- и радиотехнике, электронике, дальней связи.

Государственный первичный эталон единицы индуктивности (ГЭТ 15–79) создан в 1979 г. и хранится в ФГУП «ВНИИМ» (г. Москва). Общий вид эталона представлен на рис. 2.



Рис. 2. Государственный первичный эталон для определения единицы индуктивности

Передача единицы осуществляется мерам как взаимной, так и собственной индуктивностью в диапазоне частот от 40 Гц до 30 МГц и номинальных значений от 10 нГн до 1 000 Гн.

Единица индуктивности необходима для нужд атомной энергетики, радиоэлектронной промышленности, электроэнергетики и приборостроения. В международных сличениях участвует данный эталон [6].

Поверка измерителей добротности и индуктивности осуществляется с помощью эталонных мер добротности первого и второго разрядов [12]. Эти меры также разрабатываются на базе Западно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» (г. Новосибирск). Чаще всего используются наборы рабочих эталонов индуктивности и добротности первого разряда LQ-2408 и меры LQ-2300 (далее – эталоны). Эталон LQ-2408 предназначен для воспроизведения ряда значений индуктивности и добротности в диапазоне частот от 0,1 до 1 000 кГц. Они представляют собой пассивные элементы электрических цепей, не содержащие элементов питания. Принцип действия эталонов основан на том, что при подключении эталона к прибору происходит формирование напряжения на клеммах прибора, функционально связанное с параметром комплексного сопротивления эталона

и тест-сигнала прибора для дальнейшего сравнения с его внутренним опорным напряжением [13].

Эталоны выпускаются в виде двух модификаций: LQ-2408-2 и LQ-2408-3. Эталоны LQ-2408-2 – это однозначные катушки индук-

тивности в виде многовитковых соленоидов, имеющие двухзажимное подключение. Эталоны LQ-2408-3 – многозначные эталоны на пяти десятичных значениях индуктивности, имеющие трехзажимное подключение. Общий вид эталонов представлен на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид эталона LQ-2408-2 и LQ-2408-3

Также существуют меры индуктивности и добротности многозначные LQ-2300, которые предназначены для поверки измерителей индуктивности, в том числе мультиметров, в диапазоне значений, превышающих 1 Гн.

Принцип действия этих мер основан на синтезировании индуктивности с помощью гиратора, представляющего собой активную электронную схему, в которой RC цепь включена в обратную связь интегрального операционного усилителя и, таким образом, имитирует катушку индуктивности. Эти меры конструктивно выполнены в цилиндрическом корпусе из алюминиевого сплава. В основании корпуса расположены два вывода (штыря), на которые выводится воспроизводимая индуктивность. Питание меры осуществляется от встроенных в ее корпус малогабаритных аккумуляторных батарей [10].

Помимо этих мер, для поверки используются высокоточные средства измерения: рабочие эталоны индуктивности типа P596 и наборы мер добротности и индуктивности P593 [9].

Меры P593 (рис. 4) предназначены для поверки измерителей индуктивности и добротности на частотах от 1 кГц до 10 МГц.

Меры приспособлены для подключения к схеме по четырехзажимному или двухзажимному режиму использования, а также могут быть применены для лабораторных работ [14–16].



Рис. 4. Общий вид набора мер индуктивности и добротности типа P593

Корпусом для данных мер является экран, в котором закреплены два контактных вывода. Катушка изготовлена из керамики или высокочастотной пластмассы [11].

Средства измерения типа P596 могут быть использованы в качестве эталона для цепей переменного тока. Они используются в целях метрологического обеспечения деятельности научно-исследовательских институтов, поверочных лабораторий и промышленных предприятий [17].

В качестве рабочих средств измерений добротности используются куметры типа E4-7, E4-11.

Измеритель добротности E4-7 предназначен для измерения добротности катушек индуктивности. Приборы позволяют определять

емкость и угол потерь конденсаторов, сопротивление двухполюсников. Измерители предназначены для эксплуатации в цеховых, лабораторных и полевых условиях [14].

В основу работы прибора положено измерение напряжения на реактивном элементе контура в момент резонанса. На передней панели размещены ручки управления. Клеммы для подсоединяемого измеряемого элемента расположены в верхней части прибора. Они имеют штепсельные отверстия для подключения стандартных катушек индуктивности, а также резьбовое соединение для закрепления катушек с мягкими выводами [16].

Для измерения эффективной добротности единичных объектов, их резонансной частоты и емкости используется измеритель добротности Е4-11. Рассматриваемые измерители применяются в научно-исследовательских институтах, заводских лабораториях и ремонтных мастерских.

В основу измерения добротности объектов индуктивного характера положено явление резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре. Добротность измеряемого объекта определяется как отношение напряжения на измерительном конденсаторе в момент резонанса к напряжению, вводимому в контур [15].

Измеритель добротности выполнен в виде переносного настольного прибора. Подключение измеряемого объекта к измерителю добротности производится с помощью клемм измерительного блока, расположенных в нише верхней крышки измерителя добротности. На верхней крышке также приведена монограмма, позволяющая по резонансной емкости на частотах 32 и 100 МГц определять индуктивность измеряемых объектов.

Измерителей добротности и индуктивности существует большое количество, перечислены более распространенные и востребованные в нашей стране.

Обсуждение результатов

Как говорилось выше, на базе Западно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» были разработаны и утверждены рабочие эталоны индуктивности и добротности первого раз-

ряда LQ-2408, предназначенные для воспроизведения ряда значений индуктивности и добротности в диапазоне частот от 0,1 до 1 000 кГц. По своим характеристикам данные рабочие эталоны в разы превосходят ранее созданные меры, что делает их уникальными в своей области измерения.

Общий вид данных эталонов с заводскими номерами 4–12 представлен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид набора рабочих эталонов с заводскими номерами 4–12

Программное обеспечение у этого эталона отсутствует. Пределы допускаемой основной относительной погрешности δ_Q действительных значений добротности эталонов равны:

- $\pm 0,04 (1+Q_x)$, при $L \geq 1$ Гн;
- $\pm (1+0,01 Q_x)$, при $L < 1$ Гн.

После выпуска из производства, в соответствии с Федеральным законом № 102 «Об обеспечении единства измерений» [18, 19], данные меры должны подвергаться испытаниям в целях утверждения их типа, для внесения в государственный реестр с последующей поверкой через установленный временной интервал [20–22]. Поверка данных эталонов осуществляется в соответствии с руководством по эксплуатации [13]. Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью. Знак поверки наносится на эталон. Знак утверждения типа наносится на титульный лист руководства по эксплуатации.

Определение действительных значений индуктивности двухзажимных эталонов LQ-2408-2 на частотах от 10 до 1 000 кГц выполняется методом прямых измерений на анализаторе импеданса прецизионном WK 6500. Испытание на частоте 1 кГц выполняют на мосте переменного тока P5083 в режиме «калибровка» методом замещения с использованием в качестве исходных эталонов вторичного эталона еди-

ницы индуктивности по ГОСТ Р 8.732 в диапазоне значений от 1 мкГн до 1 Гн. Определение добротности двухзажимных эталонов LQ-2408-2 на частотах от 30 до 1 000 кГц выполняют на вторичном рабочем эталоне единицы электрической добротности по ГОСТ Р 8.868.

Полученные пределы допускаемой погрешности значений индуктивности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пределы допускаемой погрешности значений индуктивности

Номинальное значение индуктивности	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, $\pm \delta_L$, %, при частотах, кГц							
	0,100	0,120	1,0	10	30	100	300	1000
10 000 Гн	0,10	0,10	—	—	—	—	—	—
1 000 Гн	0,03	0,03	—	—	—	—	—	—
100 Гн	0,03	0,03	0,03	—	—	—	—	—
10 Гн	0,03	0,03	0,03	0,06	—	—	—	—
1 Гн	—	—	0,03	0,06	—	—	—	—
100 мГн	—	—	0,03	0,06	0,06	—	—	—
50 мГн	—	—	0,03	0,06	0,06	—	—	—
10 мГн	—	—	0,03	0,06	0,06	0,1	—	—
5 мГн	—	—	0,03	0,06	0,10	0,1	—	—
1 мГн	—	—	0,03	0,06	0,10	0,1	0,1	—
500 мкГн	—	—	0,03	0,06	0,10	0,1	0,1	—
100 мкГн	—	—	0,03	0,06	0,10	0,1	0,1	0,1
50 мкГн	—	—	—	0,20	0,20	0,2	0,2	0,2
10 мкГн	—	—	—	0,20	0,20	0,2	0,2	0,2
5 мкГн	—	—	—	0,50	0,20	0,2	0,2	0,2
1 мкГн	—	—	—	0,50	0,20	0,2	0,2	0,2

Пределы допускаемой дополнительной погрешности индуктивности и добротности эталонов в зависимости от температуры окружающей среды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Пределы допускаемой дополнительной погрешности индуктивности и добротности

Номинальное значение индуктивности мер	Пределы допускаемой дополнительной погрешности на 1 °С, %	
	L	Q
от 1 до 10 000 Гн	0,01	0,01
от 1 мкГн до 1 Гн	0,01	0,50

Заключение

К сожалению, техническая база метрологического обеспечения в виде рабочих и вторичных эталонов соответствующих электрических величин за последние 25 лет не изменилась как в России, так и за рубежом. Имеющиеся средства поверки современных прецизионных анализаторов импеданса в большинстве случаев обеспечивают только средние значения измеряемых величин. Это создает значительные трудности в определении действительных характеристик как при испытаниях вновь разрабатываемых приборов, так и при их дальнейшей эксплуатации.

Ничто не дает такого полного представления о промышленном и научном потенциале любой страны, как достигнутый уровень обеспечения единства, точности и достоверности измерений. Исходя из этого, ставятся необходимые задачи – создание

и выпуск средств поверки сверхмалых и сверхбольших значений электрических величин: емкости до 1 Ф, индуктивности от 10^{-9} до 10^5 Гн, активных сопротивлений от 10^{-6} до 10^{12} Ом, тангенса угла потерь до 10^{-5} .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бродников А. Ф., Вихарева Н. А., Черепанов В. Я. Измерения и эталоны тепловых величин : учеб. пособие. – Новосибирск : АСМС, 2017. – 180 с.
2. Kurbatva N. A., Simonova G. V., Cherepanov V. Ya. Analysis of the possibility of an experimental refinement of Boltzmann's constant by a radiation-calorimetric method // Measurement Techniques. – 2012. – Vol. 54, No 10. – P. 1130–1135.
3. Dzhabbarov R. R., Khakimov O. Sh., Cherepanov V. Ya. A calorimeter for measuring the total thermal resistance of textile materials // Measurement Techniques. – 2001. – Vol. 44, No 5. – P. 508–512.
4. Горкунов Б. М., Львов С. Г., Тищенко А. А. Измерение параметров электрических цепей : учеб. пособие. – Харьков : НТУ «ХПП», 2014. – 128 с.
5. ГОСТ 22261–94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия: межгос. стандарт. – Введ. 01.01.1996. – М. : Стандартинформ, 2007. – 30 с.
6. ГОСТ 8.371–80. ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений электрической емкости: гос. стандарт. СССР. – Введ. 01.01.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
7. Лукашкин В. Г., Булатов М. Ф. Эталоны и стандартные образцы в измерительной технике. Электрорадиоизмерения. – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 402 с.
8. Воронина Г. П. Государственные эталоны России. – М. : Андреевский флаг, 2000. – 184 с.
9. Прохоров А. М. Советский энциклопедический словарь. – 4-е изд. – М. : Сов. Энциклопедия, 1990. – 1623 с.
10. ГОСТ Р 8.732–2011 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений индуктивности : нац. стандарт РФ. – Введ. 01.07.2012. – М. : Стандартинформ, 2012. – 5 с.
11. ГОСТ Р 8.868–2014 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрической добротности : нац. стандарт РФ. – Введ. 01.04.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.
12. Вихарева Н. А., Зонова А. Д., Троценко Д. П., Черепанов В. Я., Ямшанов В. А. Разработка и исследование новых методов и эталонных средств метрологического обеспечения теплотрии // Приборы. – 2012. – № 10. – С. 1–8.
13. Набор рабочих эталонов индуктивности и добротности 1-го разряда LQ-2408 : руководство по эксплуатации. – Новосибирск : СНИИМ, 2017. – 19 с.
14. Шкурин Г. П. Справочник по электро- и электронно-измерительным приборам. – М. : Воениздателство, 1972. – 448 с.
15. Илюнин К. К., Леонтьев Д. И., Набебина Л. И. Справочник по электроизмерительным приборам. – 3-е изд. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинград отделение, 1983. – 784 с.
16. Мардин В. В., Кривоносов А. И. Справочник по электронным измерительным приборам. – М. : Связь, 1978. – 416 с.
17. Литовченко В. А., Заржецкая Н. В. Обзор методов измерения S-параметров транзисторов СВЧ в режиме большого сигнала // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 306–327.
18. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс] : федер. закон от 25.06.2008 № 102–ФЗ (с изм. от 28.11.2015). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
19. Вихарева Н. А., Черепанов В. Я. Прикладная метрология : метод. указания по выполнению курсовой работы. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 47 с.
20. ГОСТ 8.009–84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений: межгос. стандарт. – Введ. 01.01.1986. – М. : Стандартинформ, 2006. – 27 с.
21. МИ 3290–2010. ГСИ. Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа : рекомендации. – Введ. 01.10.2010. – М. : ФГУП «ВНИИМС», 2016. – 33 с.

22. Р 50.2.077–2014. ГСИ. Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка защиты программного обеспечения: рекомендации. – Введ. 01.10.2014. – М. : Стандартинформ, 2014. – 48 с.

Получено 22.07.2020

© Н. А. Вихарева, 2020

METROLOGICAL SUPPORT MEANS OF MEASUREMENTS OF Q FACTOR AND INDUCTIVITY

Nadezhda A. Vikhareva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: milana-maria@mail.ru

The article discusses the metrological support of enterprises with reference instruments for measuring the quality factor and inductance, which is very important for our country. The production of these measuring instruments (measures) and the approval of their type is currently an effective solution to this problem. Considered technical devices developed by the West Siberian branch of FSUE "VNIIFTRI", which act as a standard designed to reproduce a number of inductance and Q-factor values in the frequency range from 0.1 to 1000 kHz. The proposed range of frequencies for the developed measures is much higher than that of other tools designed to measure Q-factor and inductance. The reference means under consideration are included in the scope of government regulation. A comparative analysis of their characteristics with the characteristics known technical devices for this type of measurement is carried out. The results of tests are given, which showed that the frequency applicability of the LQ-2408-3 measure is significantly higher than the previously released measures P596 and 1482 and corresponds to the working standards of the 1st category in accordance with the verification circuit for inductance and Q-factor.

Keywords: quality factor, inductance, measuring instruments, measure, standard, calibration, measurement, metrological support

REFERENCES

1. Brodnikov, A. F., Vikhareva, N. A., & Cherepanov, V. Ya. (2017). *Izmereniya i etalony teplovykh velichin [Measurements and standards of thermal quantities]*. Novosibirsk: ASMS Publ., 80 p. [in Russian].
2. Kurbatva, N. A., Simonova, G. V., & Cherepanov, V. Ya. (2012). Analysis of the possibility of an experimental refinement of Boltzmann's constant by a radiation-calorimetric method. *Measurement Techniques*, 54(10), 1130–1135.
3. Dzhabbarov, R. R., Khakimov, O. Sh., & Cherepanov, V. Ya. (2001). A calorimeter for measuring the total thermal resistance of textile materials. *Measurement Techniques*, 44(5), 508–512.
4. Gorkunov, B. M., Lviv, S. G., & Tishchenko, A. A. (2014). *Izmerenie parametrov elektricheskikh tsepey [Measurement of the parameters of electrical circuits]*. Kharkiv: NTU "KhPI" Publ., 128 p. [in Russian].
5. GOST 22261-94. (2007). Means of measuring electrical and magnetic quantities. General specifications: interstate standard. Moscow: Standartinform Publ., 30 p. [in Russian].
6. GOST 8.371-80 GSI. (1980). State primary standard and the all-Union verification scheme for measuring instruments of electric capacity: state standard. USSR. Moscow: Standards Publ., 7 p. [in Russian].
7. Lukashkin, V. G., & Bulatov, M. F. (2018). *Etalony i standartnye obratzysy v izmeritel'noy tekhnike. Elektroradioizmereniya [Standards and standard samples in measuring technique. Electroradio-measurements]*. Moscow: TECHNOSPHERE Publ., 402 p. [in Russian].
8. Voronina, G. P. (2000). *Gosudarstvennyye etalony Rossii [State standards of Russia]*. Moscow: St. Andrew's Flag Publ., 184 p. [in Russian].
9. Prokhorov, A. M. (1990). *Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar' [Soviet Encyclopedic Dictionary]* (4th ed). Moscow: Soviet Encyclopedia Publ., 1623 p. [in Russian].

10. GOST R 8.732-2011 GSI. (2012). State calibration chart for inductance measuring instruments: national standard. RF. Moscow: Standartinform Publ., 5 p. [in Russian].
11. GOST R 8.868-2014 GSI. (2014). State verification scheme for measuring instruments of electric quality factor: national standard. RF. Moscow: Standartinform Publ., 11 p. [in Russian].
12. Vikhareva, N. A., Zonova, A. D., Trotsenko, D. P., Cherepanov, V. Ya., & Yamshanov, V. A. (2012). Development and research of new methods and reference tools for metrological support of heat metering. *Pribory [Devices]*, 10, 1–8 [in Russian].
13. *Nabor rabochikh etalonov induktivnosti i dobrotnosti 1-go razryada LQ-2408: rukovodstvo po ekspluatatsii [A set of working standards of inductance and quality factor of the 1st category LQ-2408: instruction manual]*. (2017). Novosibirsk: SNIIM Publ., 19 p. [in Russian].
14. Shkurin, G. P. (1972). *Spravochnik po elektro- i elektronno-izmeritel'nym priboram [Handbook of electrical and electronic measuring devices]*. Moscow: Military Publ., 448 p. [in Russian].
15. Ilyunin, K. K., Leontiev, D. I., & Nabebina, L. I. (1983). *Spravochnik po elektroizmeritel'nym priboram [Handbook of electrical measuring instruments]* (3rd ed.). Leningrad: Energoatomizdat Leningrad Branch Publ., 784 p. [in Russian].
16. Mardin, V. V., & Krivososov A. I. (1978). *Spravochnik po elektronnyim izmeritel'nym priboram [Handbook of electronic measuring instruments]*. Moscow: Communication Publ., 416 p. [in Russian].
17. Litovchenko, V. A., & Zarzhetsky, N. V. (2019). Overview of methods for measuring S-parameters of microwave transistors in big signal mode. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4), 306–327 [in Russian].
18. Federal law of Russian Federation of May 06, 2008 No. 102–FZ (as amended on November 28, 2015). On ensuring the uniformity of measurements. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
19. Vikhareva, N. A., & Cherepanov, V. Ya. (2012). *Prikladnaya metrologiya. Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu kursovoy raboty [Applied metrology. Guidelines for the implementation of the course work]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 47 p. [in Russian].
20. GOST 8.009–84. GSI. (2006). Normalized metrological characteristics of measuring instruments: interstate standard. Moscow: Standartinform Publ., 27 p. [in Russian].
21. MI 3290–2010. GSI. (2016). Recommendation on the preparation, design and review of test materials for measuring instruments for type approval: recommendations. Moscow: FSUE "VNIIMS" Publ., 33 p. [in Russian].
22. R 50.2.077–2014. GSI. (2014). Tests of measuring instruments for type approval. Software Security Check: recommendations. Moscow: Standartinform Publ., 48 p. [in Russian].

Received 22.07.2020

© N. A. Vikhareva, 2020