

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ

THE USE OF CERTIFIED REFERENCE MATERIALS

Статья поступила в редакцию 10.02.2015,
доработана 20.01.2016

DOI 10.20915/2077-1177-2015-0-4-56-63
УДК 006.9:53.089.68:537.62

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ В ЛИСТОВЫХ ОБРАЗЦАХ ИЗ АНИЗОТРОПНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Маслова Т. И., Сердюков С. В.

В статье представлены результаты межлабораторного эксперимента по оценке различия результатов, полученных разными методами измерения удельной мощности магнитных потерь листовых образцов анизотропной электротехнической стали. Измерения проводились как на установке ЦИКЛ-2, реализующей метод измерений с применением катушек поля и стандартизованный метод с расчетом величины поля по величине тока на намагничивающей обмотке, так и на измерительных установках с различной конструкцией ярм, реализующих стандартизованный метод. Проведен анализ полученных экспериментальных данных с целью оценки сопоставимости результатов измерений для установок с различной конструкцией замыкающего ярма.

Ключевые слова: анизотропная электротехническая сталь, удельная мощность магнитных потерь, межлабораторный эксперимент, метод измерений, стандартные образцы, АЛ – листовые аппараты.

✓ **Ссылка при цитировании:** Маслова Т. И., Сердюков С. В. Применение стандартных образцов для анализа результатов измерения удельной мощности магнитных потерь в листовых образцах из анизотропной электротехнической стали, полученных различными методами // Стандартные образцы. 2015. № 4. С. 56–63.

Авторы:

МАСЛОВА Т. И.

Заместитель заведующего лаборатории метрологии магнитных измерений и неразрушающего контроля ФГУП «УНИИМ»

Российская Федерация, 620000, г. Екатеринбург,
ул. Красноармейская, 4
Тел.: 8 (343) 217-29-24
E-mail: lab261@uniim.ru

СЕРДЮКОВ С. В.

Инженер 2-й категории лаборатории метрологии магнитных измерений и неразрушающего контроля ФГУП «УНИИМ»

Российская Федерация, 620000, г. Екатеринбург,
ул. Красноармейская, 4
Тел.: 8 (343) 217-29-24
E-mail: sergey.serdjukov@gmail.com

К промышленным магнитомягким материалам относится прежде всего электротехническая сталь.

Удельная мощность магнитных потерь материала, из которого изготовлено электрооборудование, существенно влияет на коэффициент полезного действия этого оборудования и определяет потери энергии при производстве и передаче электроэнергии. Согласно утвержденному в 2010 году стандарту ГОСТ Р 53934–2010 [1] в обозначении марок анизотропной электротехнической стали введено значение ее удельной мощности магнитных потерь. Такая же ситуация наблюдается в межгосударственном ГОСТ 32482–2013 [2], вступившем в силу с 1 марта 2015 года.

Контроль качества анизотропной электротехнической стали проводится согласно [3] на образцах в виде полосок в аппаратах Эпштейна. Однако измеренное значение удельной мощности магнитных потерь является условной величиной, поскольку в расчетную формулу входит значение эффективной длины магнитного пути, которое не отражает реальное распределение магнитного потока в магнитной цепи [4].

Для получения значений удельной мощности магнитных потерь, наиболее приближенных к реальным свойствам материала в изделиях, используют измерения на листовых образцах анизотропной электротехнической стали в листовых аппаратах (далее – АЛ). При этом используют АЛ с различной конструкцией замыкающего ярма и два метода измерений удельной мощности магнитных потерь: метод с использованием катушек поля, когда измерение напряженности магнитного поля производится непосредственно катушками поля, расположенными в зоне однородности АЛ, и метод измерений по току, когда измерение напряженности магнитного поля производится по величине тока на образцовом сопротивлении, подключенном последовательно с первичной обмоткой АЛ.

Настоящая статья посвящена результатам проведенного межлабораторного эксперимента с целью оценки сопоставимости результатов измерений удельной мощности магнитных потерь стандартных образцов утвержденного типа ГСО 2129–89 листовой формы, изготовленных из анизотропной электротехнической стали, в аппаратах листов с различной формой замыкающего ярма и двумя методами: методом с катушками поля и методом по току.

Для проведения эксперимента были подготовлены 20 образцов (10 пар) анизотропной электротехнической стали по [1] листовой формы размерами (700×300) мм и $700 \times (300 + 200)$ мм.

Измерения были проведены на следующих установках:

– ГЭТ 198–2011, принадлежащий ФГУП «УНИИМ», в составе которого две установки с листовыми аппаратами, реализующие метод измерений с применением катушек поля и метод измерений по току [5];

– установка УИ-5099 и установка фирмы «Брокхаус», принадлежащие ООО «ВИЗСталь», реализующие метод измерения по току;

– установка МК-4Э, принадлежащая НПО «Энергомаш», реализующая метод измерения с помощью катушек поля.

На установке ЦИКЛ-2, входящей в состав эталона ГЭТ 198–2011, были проведены измерения удельной мощности магнитных потерь на образцах размерами (700×300) мм и $700 \times (300 + 200)$ мм двумя методами (по току и с использованием катушек поля); на установке УИ-5099 «ВИЗ-Сталь» – измерения удельной мощности магнитных потерь на образцах размерами (700×300) мм и $700 \times (300 + 200)$ мм методом определения напряженности магнитного поля по току; на установке фирмы «Брокхаус» – измерения удельной мощности магнитных потерь на образцах размерами (700×300) мм методом определения напряженности магнитного поля по току; на установке МК-4Э «Энергомаш» – измерения удельной мощности магнитных потерь на образцах размерами (700×300) мм и $700 \times (300 + 200)$ мм методом определения напряженности магнитного поля с применением катушек поля.

Результаты измерения удельной мощности магнитных потерь листовых образцов на установках ЦИКЛ-2, УИ-5099, фирмы «Брокхаус» и МК-4Э приведены в табл. 1.

Кроме этого, для оценки различий результатов измерений на листовых аппаратах одинаковых конструкций были также проанализированы результаты измерений трех листовых образцов анизотропной электротехнической стали размерами (600×500) мм на установке высшей точности РТВ (Германия) и установке ЦИКЛ-2, входящей в состав ГЭТ 198–2011, которые представлены в табл. 2.

Для оценки сопоставимости результатов измерений на АЛ различных конструкций и двумя методами были определены:

– различия результатов измерений в АЛ разных конструкций с применением метода измерения по току (рис. 1);

– различия результатов измерений в АЛ разных конструкций с применением метода катушек поля (рис. 2);

– различия результатов измерений в АЛ одинаковой конструкции замыкающего ярма с применением двух методов измерений (рис. 3, 4).

Таблица 1
Результаты измерений удельной мощности магнитных потерь листовых образцов на аппаратах различной конструкции

№ образца	ФГУП «УНИИМ»				«ВИЗ-Сталь»			«Энергомаш»
	ГЭТ 198-2011 (КП)		ГЭТ 198-2011 (Ток)		УИ-5099		Брокхаус	МК-4Э (КП)
	300 мм	(300 + 200) мм	300 мм	(300 + 200) мм	300 мм	(300 + 200) мм	300 мм	300 мм
Измеряемая величина	P1,5/50, Вт/кг							
H798	0,710	0,708	0,692	0,712	0,764	0,758	0,680	0,703
B798	0,710	0,698	0,682	0,708	0,762	0,751	0,663	0,706
H729	0,716	0,696	0,694	0,694	0,766	0,757	0,693	0,720
B729	0,722	0,664	0,708	0,694	0,766	0,765	0,687	0,718
H720	0,716	0,686	0,731	0,712	0,764	0,763	0,710	0,722
B720	0,706	0,686	0,710	0,706	0,760	0,754	0,686	0,705
H739	0,699	0,681	0,685	0,682	0,750	0,744	0,667	0,691
B739	0,697	0,703	0,696	0,686	0,745	0,743	0,679	0,703
H745	0,742	0,702	0,719	0,726	0,777	0,770	0,695	0,740
B745	0,725	0,690	0,703	0,718	0,779	0,766	0,681	0,722
Измеряемая величина	P1,7/50, Вт/кг							
H798	1,073	1,015	1,013	1,047	1,058	1,045	0,993	1,063
B798	1,074	1,008	0,990	1,041	1,054	1,040	0,953	1,068
H729	1,065	0,988	1,016	1,016	1,049	1,037	1,005	1,052
B729	1,060	0,945	1,027	1,001	1,045	1,048	0,992	1,050
H720	1,086	0,995	1,065	1,049	1,052	1,054	1,035	1,078
B720	1,066	1,000	1,026	1,027	1,047	1,037	0,993	1,075
H739	1,071	0,993	1,033	1,021	1,045	1,038	0,998	1,069
B739	1,079	1,061	1,047	1,035	1,036	1,033	1,015	1,071
H745	1,111	1,028	1,066	1,063	1,072	1,060	1,030	1,108
B745	1,074	0,994	1,032	1,053	1,070	1,056	0,998	1,063

P1,5/50 – удельная мощность магнитных потерь при заданном значении индукции магнитного поля $B = 1,5$ Тл и частоте $f = 50$ Гц;
P1,7/50 – удельная мощность магнитных потерь при заданном значении индукции магнитного поля $B = 1,7$ Тл и частоте $f = 50$ Гц.

Таблица 2

Результаты измерений удельной мощности магнитных потерь на листовых аппаратах одинаковых конструкций

Номер образца	24					
Организация	ФГУП «УНИИМ»			РТВ		
Режим	По току	По катушкам поля		По току		
I_m , мм	462	470	–	–	460	
Измеряемая величина	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг
Результаты измерений	0,9304	1,33	0,8862	1,216	0,9262	1,3034
	0,9307	1,33	0,8853	1,212	0,9273	1,3044
	0,931	1,332	0,8838	1,217	0,9275	1,3053
	0,9321	1,334	0,8805	1,218	0,9260	1,3034
	0,9305	1,332	0,8795	1,214	0,9233	1,3008
	0,9305	1,332	0,8737	1,217		
Среднее из измеренных значений	0,9309	1,3317	0,8815	1,2157	0,9261	1,3035
Номер образца	22					
Организация	ФГУП «УНИИМ»			РТВ		
Режим	По току	По катушкам поля		По току		
I_m , мм	462	470	–	–	460	
Измеряемая величина	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг
Результаты измерений	0,7619	1,118	0,6834	0,9812	0,7604	1,1088
	0,7614	1,121	0,6833	0,9788	0,7605	1,1094
	0,7609	1,125	0,6856	0,9809	0,7602	1,1093
	0,7609	1,115	0,6807	0,9809	0,7602	1,1102
	0,7609	1,124	0,6896	0,9799	0,7602	1,1094
	0,7617	1,115	0,6918	0,9914		
Среднее из измеренных значений	0,7613	1,1197	0,6857	0,9822	0,7603	1,1094
Номер образца	21					
Организация	ФГУП «УНИИМ»			РТВ		
Режим	По току	По катушкам поля		По току		
I_m , мм	462	470	–	–	460	
Измеряемая величина	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг	$P_{1,5}$, Вт/кг	$P_{1,7}$, Вт/кг
Результаты измерений	0,828	1,228	0,7637	1,103	0,8203	1,2045
	0,8279	1,231	0,7649	1,102	0,8209	1,2058
	0,8286	1,231	0,7707	1,105	0,8188	1,2043
	0,8281	1,237	0,77	1,105	0,8188	1,2040
	0,8288	1,231	0,7757	1,092	0,8190	1,2042
	0,8284	1,237	0,7715	1,102		
Среднее из измеренных значений	0,8283	1,2325	0,7694	1,1015	0,8196	1,2046

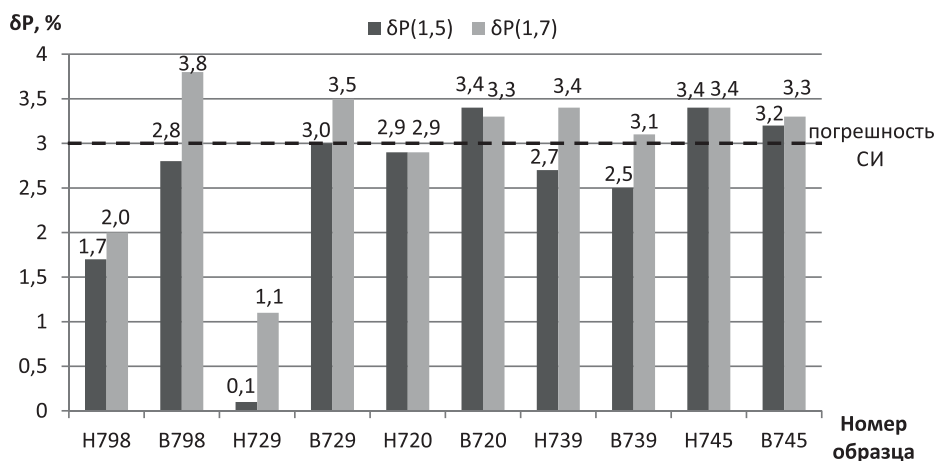


Рис. 1. Различия результатов измерений удельной мощности магнитных потерь, полученных методом измерения по току на установках различных конструкций (ЦИКЛ-2 и «Брокхаус»)

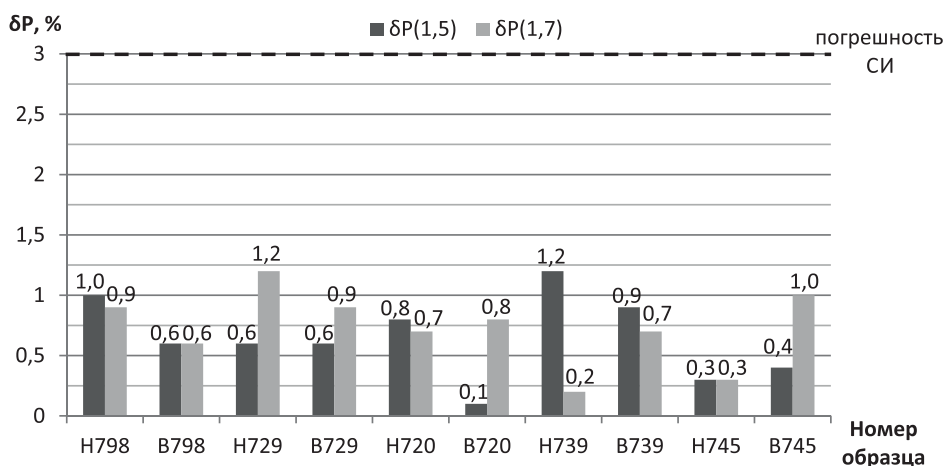


Рис. 2. Различия результатов измерений удельной мощности магнитных потерь с применением катушек поля (на установках ЦИКЛ-2 и МК-4Э)

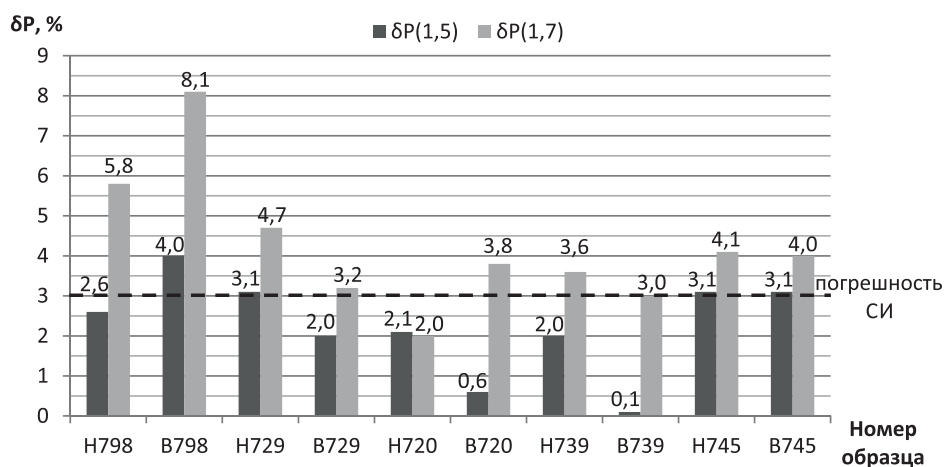


Рис. 3. Различия результатов измерений удельной мощности магнитных потерь, полученных различными методами на установке ЦИКЛ-2 из состава ГЭТ 198-2011

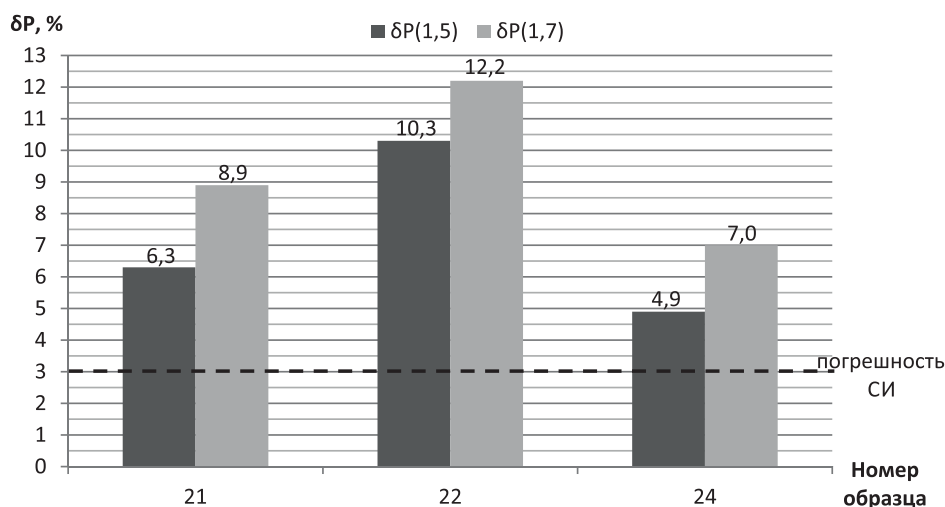


Рис. 4. Различия результатов измерений удельной мощности магнитных потерь, полученных различными методами на установках одинаковой конструкции (на установке высшей точности РТВ и установке ЦИКЛ-2, входящей в состав ГЭТ 198–2011)

В ходе анализа результатов проведенного эксперимента было установлено, что при измерении удельной мощности магнитных потерь образцов листовой формы с использованием метода измерений напряженности магнитного поля по току большое значение имеет форма замыкающего яра. Различие результатов измерений, полученных при использовании аппаратов листов различных конструкций, в данном случае может достигать 10 %, что значительно превышает погрешность измерения $P_{уд}$, нормированную в стандартах на методику измерений [3]. Применение метода измерений напряженности магнитного поля через катушки поля позволяет исключить влияние конструкции замыкающего яра и получить совпадение результатов измерений в пределах погрешности применяемых установок (рис. 2). Применение аппаратов листов одинаковых конструкций при измерении напряженности поля разными методами не позволяет обеспечить получение различия результатов измерений в пределах погрешности измерений, нормируемой стандартами на методы измерений (рис. 3, 4).

Можно предложить два возможных способа решения обозначенной проблемы, связанной с различиями результатов измерений удельной мощности магнитных потерь, полученных разными методами на указанных выше установках.

Первый способ повышения точности и достижения единства измерений заключается в разработке набора общих обязательных требований к конструкции и технологии изготовления аппаратов листов для измерения магнитных характеристик образцов, к используемым при этом материалам и к методам расчета получаемых результатов измерений. Но реализовать такой путь крайне сложно, так как одинаковая форма яра в листовых аппаратах не может гарантировать совпадение результатов с требуемой точностью, вследствие зависимости его характеристик от уникальных особенностей изготовления и свойств используемого для этих целей материала [6].

Альтернативный способ подразумевает использование для измерений в аппаратах листов метода определения напряженности магнитного поля через катушки поля подобно тому, как это реализовано в эталонной установке ЦИКЛ-2, входящей в состав ГЭТ 198–2011. При этом становится возможным получение результатов измерений, не зависящих от особенностей конструкции аппарата, что позволит обеспечить требуемую точность измерений.

В дальнейшем авторы статьи намерены провести более подробный анализ процессов перемагничивания листовых образцов, принимая во внимание особенности распределения магнитного потока в ярах аппаратов листов различной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53934–2010 Прокат тонколистовой холоднокатаный из электротехнической анизотропной стали. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 20 с.
2. ГОСТ 32482–2013 Прокат тонколистовой холоднокатаный из электротехнической анизотропной стали для трансформаторов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.

- ГОСТ 12119.4–98 Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения удельных магнитных потерь и действующего значения напряженности магнитного поля. М.: Изд-во стандартов, 2003. 9 с.
- Маслова Т.И., Журавлев И.А., Радионова Л.Х. Методы определения параметров установок для измерения магнитных свойств листовых образцов электротехнической стали // Заводская лаборатория. 1987. № 1. С. 35–37.
- Государственный первичный эталон единиц мощности магнитных потерь / Т.И. Маслова [и др.] // Измерительная техника. 2013. № 9. С. 3–5.
- Sievert J., Ahlers H., Fiorillo F., Hall M., Henderson L., Rocchino L. Magnetic measurements on electrical steels using Epstein and SST methods – EUROMET comparison between Standard Laboratories, Euromet project 489, PTB-report E70, Braunschweig, 2001.

The article is received 10.02.2015
The article is completed 20.01.2016

DOI 10.20915/2077-1177-2015-0-4-56-63
УДК 006.9:53.089.68:537.62

APPLICATION OF REFERENCE MATERIALS FOR ANALYSIS OF RESULTS OF MEASUREMENT OF SPECIFIC POWER OF MAGNETIC LOSSES IN SHEET SPECIMENS OF ORIENTED ELECTRICAL STEEL, OBTAINED USING DIFFERENT METHODS

T.I. Maslova, S.V. Serdjukov

Ural Research Institute for Metrology (UNIIM)
ulitsa Krasnoarmeiskaia, 4, Ekaterinburg, 620000, Russian Federation
E-mail: sergey.serdjukov@gmail.com

The article presents the results of an interlaboratory experiment evaluating the differences in the results obtained by different methods of measuring of specific power of magnetic losses of sheet specimens of oriented electrical steel. Measurements were carried out both with the installation CICL-2 that implements measurement method using field coils and a standardized method with calculation of field magnitude from the current value in the magnetizing winding, and with the measuring systems with different design of yokes implementing a standardized method. The article analyzes the experimental data obtained in order to assess the comparability of measurement results for systems with different design of the closing yoke.

Keywords: oriented electrical steel, specific power of magnetic losses, interlaboratory experiment, method of measurement, reference materials.

- ✓ **When quoting reference:** Maslova T.I., Serdjukov S.V. *Primenenie standartnykh obraztsov dlia analiza rezul'tatov izmereniia udel'noj moshchnosti magnitnykh poter' v listovykh obraztsakh iz anizotropnoj elektrotekhnicheskoy stali, poluchennykh razlichnymi metodami* [Application of reference materials for analysis of results of measurement of specific power of magnetic losses in sheet specimens of oriented electrical steel, obtained using different methods]. *Stand. obraz. – Reference materials*, 2015, No. 4, pp. 56–63 (In Russian).

REFERENCES:

1. GOST R 53934–2010 *Prokat tonkolistovoj kholodnokatanyj iz elektrotekhnicheskoy anizotropnoj stali. Tekhnicheskie usloviia* [Cold-rolled grain-oriented electrical steel sheet and strip. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 20 p. (In Russian).
2. GOST 32482–2013 *Prokat tonkolistovoj kholodnokatanyj iz elektrotekhnicheskoy anizotropnoj stali dlia transformatorov. Tekhnicheskie usloviia*. [Gold-rolled grain-oriented electrical steel sheet and strip for transformer. Specifications (EN 10107:2005, NEQ)]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 15 p. (In Russian).
3. GOST 12119.4–98 *Stal' elektrotekhnicheskaja. Metody opredeleniia magnitnykh i elektricheskikh svojstv. Metod izmereniia udel'nykh magnitnykh poter' i deistvuiushchego znacheniia napriazhennosti magnitnogo polia* [Electrical steel. Methods of test for magnetic and electrical properties. Method for measurement of specific magnetic losses and actual value of magnetic field intensity]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2003, 9 p. (In Russian).
4. Maslova T.I., Zhuravlev I.A., Radionova L. Kh. *Metody opredeleniia parametrov ustanovok dlia izmereniia magnitnykh svojstv listovykh obraztsov elektrotekhnicheskoy stali* [Methods of definition of installation parameters for measurement of magnetic properties of sheet patterns of electrotechnical steel]. *Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov – Plant Laboratory. Diagnosis materials*, 1987, No.1, pp. 35–37. (In Russian).
5. Maslova T.I., Maliuk V.P., Didik Iu.I., Malygin M.A. *Gosudarstvennyj pervichnyj etalon edinits moshchnosti magnitnykh poter'* [State primary standard of units of the magnetic loss capacity]. *Izmeritel'naja tekhnika – Measurement Techniques*, 2013, No. 9, pp. 3–5. (In Russian).
6. Sievert J., Ahlers H., Fiorillo F., Hall M., Henderson L. and Rocchino L. *Magnetic measurements on electrical steels using Epstein and SST methods – EUROMET comparison between Standard Laboratories, Euromet project 489, PTB-report E70, Braunschweig 2001.*