



Получено: 13.02.2023 г. | Принято: 20.02.2023 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.152.158>

Научная статья

## АТТЕСТАЦИЯ НАНОЛИНЕЙНОГО ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ДАТЧИКА НИ ЛДГ (РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ) И ДАТЧИКА АТ715 (ЯПОНИЯ)

Б.Г.Турухано<sup>1</sup>, заведующий ЛГИИС, заслуженный изобретатель РФ, ORCID: 0000-0002-6441-4259 / [turukhano\\_bg@pnpi.nrcki.ru](mailto:turukhano_bg@pnpi.nrcki.ru)

Н.Турухано<sup>1</sup>, вед. науч. сотр., ORCID: 0000-0001-6983-5725

Ю.М.Лавров<sup>1</sup>, науч. сотр., ORCID: 0000-0001-8890-9929

О.Г.Ермоленко<sup>1</sup>, вед. инженер-технолог, ORCID: 0000-0002-0460-0746

С.Н.Ханов<sup>1</sup>, вед. инженер-электронщик, ORCID: 0000-0001-5237-1725

**Аннотация.** Наноизмерительный линейный датчик голографический (НИ ЛДГ) и АТ715 представляют собой высокоточные измерительные устройства перемещений и длин. Измерительным элементом НИ ЛДГ является линейная голографическая дифракционная решетка. Линейная шкала АТ715 работает по принципу электромагнитной индукции. Датчики НИ ЛДГ и АТ715 имеют рабочий диапазон более 1000 мм.

**Ключевые слова:** Наноизмерительный линейный датчик голографический, линейная голографическая дифракционная решетка

**Для цитирования:** Б.Г. Турухано, Н. Турухано, Ю.М. Лавров, О.Г. Ермоленко, С.Н. Ханов. Аттестация нанолинейного голографического датчика НИ ЛДГ (Российская Федерация) и датчика АТ715 (Япония). НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 2. С. 152-158. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.152.158>

Received: 13.02.2023 | Accepted: 20.02.2023 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.152.158>

Original paper

## CERTIFICATION OF NM LHE NANO-LINEAR HOLOGRAPHIC SENSOR (RUSSIAN FEDERATION) AND AT715 SENSOR (JAPAN)

B.G.Turukhano<sup>1</sup>, Head of LHIMS, Honored Inventor of RF, ORCID: 0000-0002-6441-4259 / [turukhano\\_bg@pnpi.nrcki.ru](mailto:turukhano_bg@pnpi.nrcki.ru)

N.Turukhano<sup>1</sup>, Leading Researcher, ORCID: 0000-0001-6983-5725

Yu.M.Lavrov<sup>1</sup>, Researcher, ORCID: 0000-0001-8890-9929

O.G.Ermolenko<sup>1</sup>, Leading electronics engineer, ORCID: 0000-0002-0460-0746

S.N.Khanov<sup>1</sup>, Leading Engineer Process Engineer, ORCID: 0000-0001-5237-1725

**Abstract.** Nano-measuring linear holographic encoder (NM LHE) and AT715 sensor are high-precision displacement and length measurement devices. The measuring element of the NM LHE is a linear holographic diffraction grating. The AT715 linear scale operates on the base of electromagnetic induction. The NM LHE and AT715 sensors have an operating range of more than 1000 mm.

<sup>1</sup> ФГБУ "Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова" Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", Ленинградская обл., г. Гатчина, Россия / Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P.Konstantinov of NRC "Kurchatov Institute"

**Keywords:** nano-measuring linear holographic encoder, linear holographic diffraction grating

**For citation:** B.G. Turukhano, N. Turukhano, Yu.M. Lavrov, O.G. Ermolenko, S.N. Khanov. Certification of NM LHE nano-linear holographic sensor (Russian Federation) and AT715 sensor (Japan). NANOINDUSTRY. 2023. V. 16, no. 2. PP. 152-158. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.152.158>.

### НАЗНАЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ НИ ЛДГ 500

Датчики НИ ЛДГ 500 (рис.1) представляют собой высокоточные наноизмерительные устройства, измерительными элементами которых являются высокочастотные линейные голографические дифракционные решетки (ЛГДР), и предназначены для прецизионных координатных измерений в системе управления измеряемого изделия.

В этой статье сравниваются технические характеристики линейных голографических датчиков двух типов (табл.1).

### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ НИ ЛДГ 500 НА ДЛИНУ 500 ММ

Датчики НИ ЛДГ 500 состоят из:

- опτικο-механической части (ОМ);
- электронной части (рис.2);
- лазерного модуля:
  - напряжение питания лазерного модуля (В, не менее) 3,0;
  - температура окружающей среды, °C:  $(20 \pm 5)$ .

### Принцип работы датчиков НИ ЛДГ 500

Принцип работы датчиков НИ ЛДГ основан на следующем физическом явлении: фаза волнового фронта когерентного пучка света, дифрагированного на измерительной голографической решетке, линейно и синхронно изменяется в такт

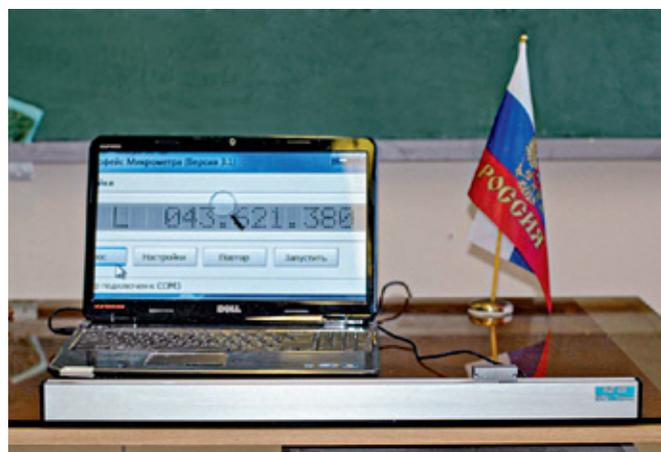


Рис.1. Фотография НИ ЛДГ 500  
Fig.1. Image of NM LHE-500

### PURPOSE OF NM LHE-500

NM LHE-500 (Fig.1) are high-precision nano-measuring devices whose measuring elements are high-frequency linear holographic diffraction gratings (LHDG). These encoders were developed for precision coordinate measurements in the control system of the measured product.

This paper compares technical characteristics of linear holographic encoders of two types (Table 1).

### THE NM LHE-500 ARE DESIGNED FOR A LENGTH OF 500 MM

NM LHE-500 sensors consist of:

- optical-mechanical part (OMP);
- electronic part (Fig.2).
- Laser module:
  - Laser module supply voltage (V, not less than) 3.0;
  - Ambient temperature, °C  $(20 \pm 5)$ .

### Principle of operation of NM LHE-500

The principle of operation of NM LHE is based on the following physical phenomenon: wavefront phase of the coherent light beam diffracted on the measuring holographic array linearly and synchronously changes in time with the array shift along the device movement direction.

In sensor operation, this physical principle is realised as follows (Fig.2): the collimated light beam 1 from the laser falls on the measuring

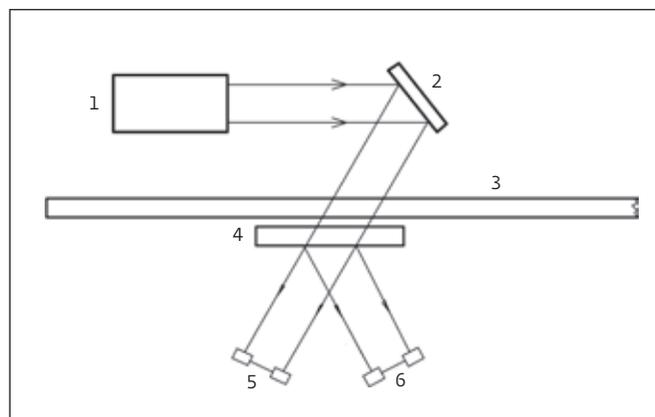


Рис.2. Принципиальная оптическая схема датчика на базе ЛГДР  
Fig.2. Optical schematic diagram of a LHDG based sensor

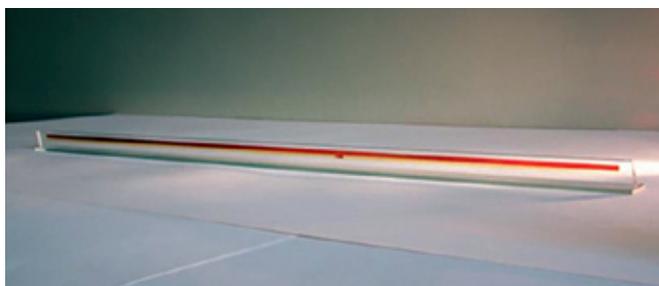


Рис.3. Фотография ЛГДР, склеенной под углом  $90^\circ$  со стеклянной пластиной, которая служит автономной направляющей ЛДГ

Fig.3. Image of a LHDG glued at  $90^\circ$  with a glass plate that serves as a self-contained guide for the LHDG

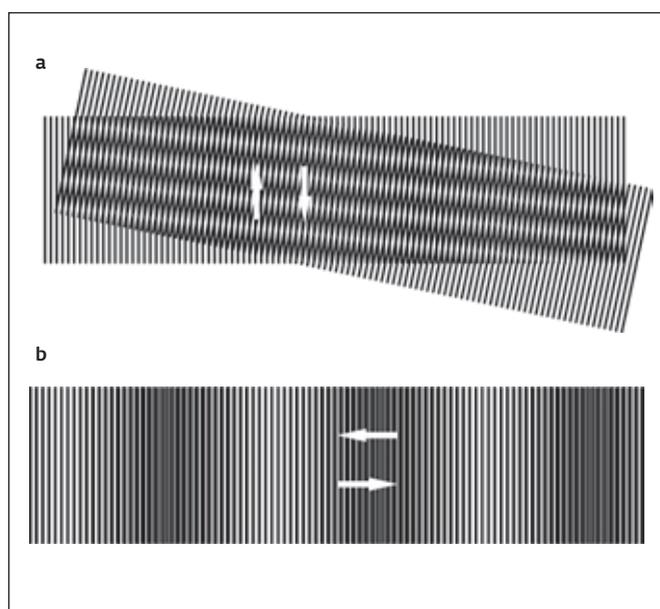


Рис.4. Фотография (а) нониусных и (б) obtюрационных полос

Fig.4. Image of (a) nonius and (b) obturator fringes

со смещением решетки вдоль направления перемещения устройства.

При работе датчика этот физический принцип реализуется следующим образом (рис.2): коллимированный световой поток  $l$  от лазера падает на измерительную  $3$  и индикаторную  $4$ , установленную за ней, решетки.

После первой решетки выделим два луча: луч  $5$ , прошедший без дифракции и идущий по направлению падающего луча, и дифрагированный луч  $6$ , идущий под углом к падающему. Дифрагированный луч изменяет фазу своего волнового фронта линейно с величиной смещения измерительной решетки, а луч, идущий по направлению падающего пучка, не меняет свою фазу. С помощью индикаторной и измерительной решетки эти два пучка вновь приводятся к одному направлению.

and display 4 gratings (display grating 4 installed behind measuring grating 3) (Fig.3).

After first grating, we will distinguish two beams: beam 5 passing without diffraction and going in direction of incident beam, and diffracted beam 6 falls at an angle to the incident one. Diffracted beam changes wavefront phase linearly with a shift magnitude of the measuring grating, while the beam falls in direction of the incident beam does not change its phase. Two beams are brought back to the same direction by the display and measuring gratings. As a result, two aligned beams emerging from the output, both in two directions. The interference of these two beams produces wide interference moiré or obturation fringes (Fig.4 a, b), and their position changes synchronously with the measuring grating movement. Photodetectors convert intensity of the interference fringes into sinusoidal electrical signals with a spatial period corresponding to the pitch of the measuring grating.

To achieve resolutions up to  $0.01 \mu\text{m}$ , the high quality sinusoidal output signals are interpolated electronically. To pick up direction of grating shift (reversal), two systems of output signals, phase-shifted to each other by  $90^\circ$  are arranged. These signals were analysed and processed in the electronic control unit to detect a linear size of the object or direction and magnitude of the grating movement.

In order to realise all advantages of a holographic reference system, a special motion mechanism is used:



Рис.5. Установка аттестации (УА) датчиков ЛДГ – (ЛГИИС) и ЛЭМ (АТ 715)

Fig.5. Attestation unit (AU) for ЛДГ and ЛЭМ sensors (АТ 715)



Таблица 1. Параметры датчиков НИ ЛДГ 500 (первая колонка) и датчик Л<sub>ЭМ</sub> 1000 (вторая колонка)

Table 1. Parameters of NM LHE-500 (first column) and Л<sub>ЭМ</sub>-1000 sensor (second column)

Тип Type	НИ ЛДГ 500 NM LHE-500	Л <sub>ЭМ</sub> 1000 мм Л <sub>ЭМ</sub> 1000 mm
Измеряемая длина Measured length	500	1000
Шаг шкалы, мкм Scale increment, $\mu\text{m}$	1	–
Погрешность, мкм/м Error, $\mu\text{m}/\text{m}$	$\pm 0,4$ мкм   $\mu\text{m}$	$\pm 5$ мкм   $\mu\text{m}$
Дискретность измерений, мкм Measurement resolution, $\mu\text{m}$	0,01	000020" (20 мкм   $\mu\text{m}$ ) / 0,5 мкм   $\mu\text{m}$
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения Длина, мкм, где L – измеряемая длина/перемещения, мм Maximum permissible absolute error of measurement Length, $\mu\text{m}$ , where L – measured length/movement, mm	$\pm(0,02 + 0,4 L/1000)$ мкм   $\mu\text{m}$	$\pm(2,0 \pm 1,0 L)$ мкм   $\mu\text{m}$
Полная длина головки, мм Full head length, mm	800 (L + 80)	
Тип выходного сигнала Output signal type	ПИ(ТТЛ)   TTL	2-phase sine curves with a phase difference of 90°
Класс точности Accuracy class	1–2	3–4
Кабель Cable	Кабель в металлорукаве, длина 3 м Cable in metal hose, length 3 m	
Кабельное окончание Cable termination	Вилка-В Electrical plug B	
Питание датчика от сети постоянного тока DC encoder power supply	+5 В   V	5 V $\pm$ 5% DC
Потребляемая мощность, Вт Consumption, W	0,2	70 mA
Источник света Light source	Лазерный диод Laser diode	
Выходная мощность лазерного излучения, мВт Laser output power, mW	5	
Температура окружающего воздуха, °С (ГОСТ 9249-59) Ambient air temperature, °C (GOST 9249-59)	(20 $\pm$ 10)	0–45 °C
Полный средний срок службы, лет Total average service life, years	10	10
Относительная влажность воздуха, % Relative humidity, %	Не более 70 No more	20–80% RH

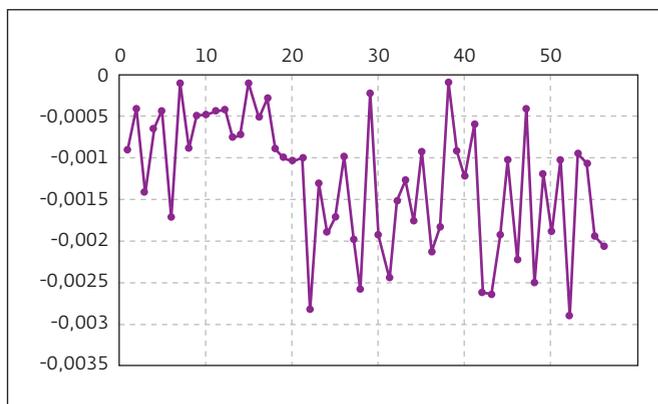


Рис.6. График разностных значений ( $L_{ДГ} - L_{ЭМ}$ )  
Fig.6. Graph of the difference values ( $L_{ДГ} - L_{ЭМ}$ )

В результате на выходе образуются два совмещенных пучка, идущих в двух направлениях. В результате интерференции этих двух пучков образуются широкие интерференционные муаровые или обтюрационные полосы (рис.4а, б), положение которых меняется синхронно в такт с перемещением измерительной решетки. Фотоприемники преобразуют интенсивность интерференционных полос в синусоидальные электрические сигналы с пространственным периодом, соответствующим шагу измерительной решетки.

Для достижения разрешения вплоть до 0,01 мкм используется электронная интерполяция высококачественных выходных синусоидальных сигналов. Для учета направления смещения решетки (реверса) организуются две системы выходных сигналов, сдвинутых по фазе друг относительно друга на 90°. В дальнейшем эти сигналы анализируются и обрабатываются в электронном блоке управления для определения линейного размера объекта или направления и величины перемещения решетки.

С целью реализации всех преимуществ голографической отсчетной системы используется специальный механизм перемещения:

- направляющая состоит из стеклянной подложки голографической решетки и стеклянной подложки, приклеенной к торцу первой по особой технологии;
- каретка перемещается на подшипниках.

### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ

На установке аттестации (УА) Лаборатории голографических информационных измерительных систем (ЛГИИС НИЦ "КИ" ПИЯФ) (рис.5) были последовательно расположены линейный датчик голографический ЛГИИС -  $L_{ДГ}$  длиной 500 мм и линейный датчик -  $L_{ЭМ}$  длиной 1000 мм.

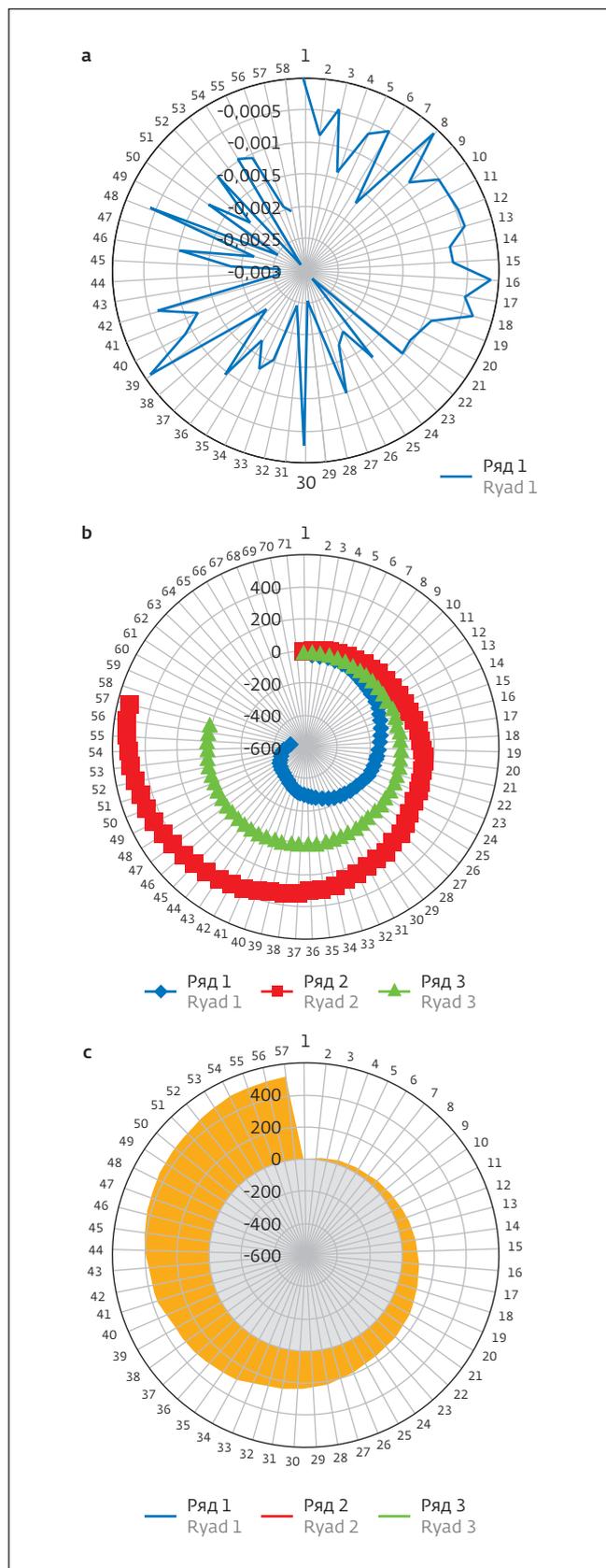


Рис.7. Диаграммы разностных значений ( $L_{ДГ} - L_{ЭМ}$ ): а, б, с  
Fig.7. Diagrams of the difference values ( $L_{ДГ} - L_{ЭМ}$ ): а, б, с



УФА | Республика  
Башкортостан

31-я международная выставка-форум

# ГАЗ. НЕФТЬ. ТЕХНОЛОГИИ

23–26 мая 2023

📍 ВДНХ ЭКСПО

## ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО  
РЕСПУБЛИКИ  
БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,  
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



БАШКОРТОСКАЯ  
ВЫСТАВОЧНАЯ  
КОМПАНИЯ

ТРАДИЦИОННАЯ  
ПОДДЕРЖКА



МИНИСТЕРСТВО  
ЭНЕРГЕТИКИ РФ



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ

## СОДЕЙСТВИЕ



СОЮЗ  
НЕФТЕГАЗОПРОИЗВЕДИТЕЛЕЙ  
РОССИИ



СОЮЗ НЕЗАВИСИМЫХ  
НЕФТЕПЕРЕРАБОТЧИКОВ



АССОЦИАЦИЯ  
НЕФТЕПЕРЕРАБОТЧИКОВ И НЕФТЕТЕХНИКОВ



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА



НОВЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
ГАЗОВОЙ  
ОТРАСЛИ



ЭНЕРГОИННОВАЦИЯ



[www.gntexpo.ru](http://www.gntexpo.ru)

+7 (347) 246-41-77 [gasoil@bvkexpo.ru](mailto:gasoil@bvkexpo.ru)

[gazneftufa](https://t.me/gazneftufa) [gntexpo2022](https://vk.com/gntexpo2022)

Датчик  $L_{ЭМ}$  был использован в научных исследованиях и разработках ПИЯФ на Большом адронном коллайдере (БАК) в Швейцарии. Аттестация  $L_{ЭМ}$  проводилась на длине  $L = 500$  мм. Отметим, что, согласно аттестации ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, точность  $L_{ДГ}$  определяется формулой:

$$\Delta L_{ДГ} = \pm (0,02 + 0,4L) \text{ мкм}, \quad (1)$$

где  $L$  выражена в метрах. Поэтому погрешность датчика  $L_{ДГ}$  на длине 500 мм не превосходит величину:

$$\Delta L_{ДГ} = \pm 0,2 \text{ мкм}. \quad (2)$$

В табл.1 приведены характеристики  $L_{ДГ}$  длиной 500 мм (первая колонка) и датчика  $L_{ЭМ}$  длиной 1000 мм (вторая колонка). График и диаграммы разностных значений ( $L_{ДГ}$  длиной 500 мм и  $L_{ЭМ}$  длиной 1 м) приведены на рис.6 и 7а, б, с.

Из анализа данных графика и диаграмм (рис.7а, б, с) следует, что по мере увеличения измеряемой длины разностные значения увеличиваются и не превосходят указанную величину  $\Delta L_{ЭМ}$  (3). В связи с тем, что  $L_{ЭМ}$  имеет минимальное разрешение 1,0 мкм, а НИ ЛДГ 500 – 0,01 мкм, текущие значения величины длины  $L_{ДГ}$  в пределах  $\pm 1,0$  мкм не фиксируются.

Исходя из вышеизложенного, формулу точности  $L_{ЭМ}$  можно записать в виде:

$$\Delta L_{ЭМ} = \pm (2,0 \pm 1,0 L) \text{ мкм}. \quad (3)$$

## ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

**Декларация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Турухано Б.Г., Турухано Н. Датчик линейных перемещений. Патент РФ № 2197713 от 27.01.2000 г.
2. Турухано Б.Г., Турухано И.А., Турухано Н. Датчик линейных перемещений (ПИЯФ). Патент на полезную модель № 201730, 29 декабря 2020 г.

- The guide consists of a glass substrate of a holographic grating and a glass substrate glued down to the former face by special technology;
- The carriage moves using bearings.

## METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF ENCODERS

On the attestation unit (AU) of the Laboratory of Holographic Information Measurement Systems (LHIMS) of SRC PNPI (Fig.5) the linear holographic encoder LHIMS –  $L_{ДГ}$  500 mm long and  $L_{ЭМ}$  of 1000 mm long were located successively. The  $L_{ЭМ}$  sensor was used in the PNPI research and development at the Large Hadron Collider (LHC) in Switzerland.  $L_{ЭМ}$  attestation was carried out at the length  $L = 500$  mm. Note that according to the D.I. Mendeleev All-Russian Research Institute of Metrology certification,  $L_{ЭМ}$  accuracy is defined by the formula:

$$\Delta L_{ДГ} = \pm (0.02 + 0.4L) \text{ мкм} | \mu\text{m}, \quad (1)$$

where  $L$  is in metres. Therefore, the LHE error on a length of 500 mm does not exceed a value:

$$\Delta L_{ДГ} = \pm 0.2 \text{ мкм} | \mu\text{m}. \quad (2)$$

Table 1 presents characteristics of the 500 mm long LHE (first column) and the 1000 mm long LHE sensor (second column). The graph and diagrams of difference values (500 mm long  $L_{ДГ}$  and 1 metre long  $L_{ЭМ}$  sensor) are shown in Fig.6 and Fig.7 a, b, c.

From the analysis of the graph data and diagrams (Fig.7 a, b, c) it follows that as the measured length increases, the difference values increase and do not exceed the specified  $\Delta L_{ЭМ}$  value (3). Due to the fact that the  $L_{ЭМ}$  has a minimum resolution of 1.0  $\mu\text{m}$  and the NM LHE-500 has a resolution of 0.01  $\mu\text{m}$ , the current values of the  $L_{ДГ}$  length within  $\pm 1.0$   $\mu\text{m}$  are not fixed.

Based on the above,  $L_{ЭМ}$  accuracy formula can be written as:

$$\Delta L_{ЭМ} = \pm (2.0 \pm 1.0 L) \text{ мкм} | \mu\text{m}. \quad (3)$$

## PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

**Declaration of Competing Interest.** The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.