



Получено: 1.07.2023 г. | Принято: 7.07.2023 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.5.310.318>

Научная статья

НАНОГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ДЛИНОМЕРЫ И ЛИНЕЙНЫЕ ДАТЧИКИ

Б.Г.Турухано¹, заведующий ЛГИИС, заслуженный изобретатель РФ, ORCID: 0000-0002-6441-4259 / turukhano_bg@npri.nrcki.ru

Н.Турухано¹, вед. науч. сотр., ORCID: 0000-0001-6983-5725

С.Н.Ханов¹, вед. инженер-электронщик, ORCID: 0000-0001-5237-1725

В.В.Добырн¹, ст. науч. сотр., ORCID: 0009-0004-4894-4112

Ю.М.Лавров¹, науч. сотр., ORCID: 0000-0001-8890-9929

О.Г.Ермоленко¹, вед. инженер-технолог, ORCID: 0000-0002-0460-0746

Аннотация. В этой статье авторы освещают современное состояние измерительной техники, при измерении линейных размеров объектов наногоризонтальными голографическими датчиками (ЛДГ) и нановертикальными длиномерами голографическими (НДГ) на базе линейных голографических дифракционных решеток (ЛГДР).

Ключевые слова: линейная голографическая дифракционная решетка, горизонтальный НАНО голографический датчик, вертикальный нанодлиномер голографический

Для цитирования: Б.Г. Турухано, Н. Турухано, С.Н. Ханов, В.В. Добырн, Ю.М. Лавров, О.Г. Ермоленко. Наноголографические длиномеры и линейные датчики. НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 5. С. 310–318. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.5.310.318>

Received: 1.07.2023 | Accepted: 7.07.2023 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.5.310.318>

Original paper

NANOHOLOGRAPHIC LENGTH METERS AND LINEAR ENCODERS

B.G.Turukhano¹, Head of LHIMS, Honored Inventor of RF, ORCID: 0000-0002-6441-4259 / turukhano_bg@npri.nrcki.ru

N.Turukhano¹, Leading Researcher, ORCID: 0000-0001-6983-5725

S.N.Khanov¹, Leading Engineer Process Engineer, ORCID: 0000-0001-5237-1725

V.V.Dobyrn¹, Senior Researcher, ORCID: 0009-0004-4894-4112

Yu.M.Lavrov¹, Researcher, ORCID: 0000-0001-8890-9929

O.G.Ermolenko¹, Leading electronics engineer, ORCID: 0000-0002-0460-0746

Abstract. In this paper, the authors highlight the current state of measurement technology when measuring the linear dimensions of objects with nano-horizontal holographic encoders (LHE) and vertical nano-holographic length encoders (VEH) based on linear holographic diffraction gratings (LHDC).

Keywords: linear holographic diffraction grating, horizontal nano-holographic encoders, vertical nano-holographic length encoders

¹ 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", Gatchina, Russia



For citation: B.G. Turukhano, N. Turukhano, S.N. Khanov, V.V. Dobyryn, Yu.M. Lavrov, O.G. Ermolenko. Nanoholographic length meters and linear encoders. NANOINDUSTRY. 2023. V. 16, no. 5. PP. 310–318. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.5.310.318>.

ВВЕДЕНИЕ

Человечеству на протяжении всего своего существования свойственна творческая деятельность, и это – благодаря своему огромному мозгу. Ученые считают, что человеческий мозг – самый объемистый объект во Вселенной. Причем человек поднимается как вверх во Вселенной, так и вниз, к своему началу. В этой статье мы коснемся второй части его деятельности, связанной с областью высоких технологий, а точнее – наноизмерительных систем линейных перемещений.

Если измерительные системы в 20 веке устойчиво достигли уровня микрона и приблизились к нанометру, то в 21 веке человеку определенно хочется достичь большего. В данном случае авторы этой статьи уже устойчиво достигли одного нанометра в своих разработках измерительных систем линейных перемещений.

Ранее один из методов, который ученые применяли для измерения геометрических параметров объектов – длины и угла, был метод с использованием штриховых шкал, полученных механическим путем, однако достичь на их базе величины меньше микрона было практически невозможно, особенно при больших длинах изучаемых объектов.

Создание в начале 60-х годов прошлого столетия когерентных источников излучения (лазеров) и, благодаря им, новой науки – голографии – открыло новые возможности для перехода от микро- к наносистемам.

Это позволило освоить новый бесконтактный способ записи линейных и радиальных голографических дифракционных решеток (ЛГДР и РГДР) с помощью интерференции когерентных волновых пучков [1]. Известно, что волны когерентны, если их разность фаз остается постоянной во времени. Только когерентные волны могут давать устойчивую интерференционную картину. Однако появилась

INTRODUCTION

Humanity has been creative throughout its existence and it is thanks to its enormous brain. Scientists believe that the human brain is the most voluminous object in the Universe. Moreover, the human being rises both up in the Universe and down to its beginning. In this paper, we will touch upon the second part of his activity related to the field of high technologies, more precisely, nano-measuring systems of linear movements.

If measuring systems in the 20th century have steadily reached the micron level and approached the nanometre, then in the 21st century man definitely wants to achieve more. In this case, the authors of this paper have already steadily reached 1 nanometre in their development of linear motion measurement systems.

Previously, one of the methods that scientists used to measure the geometric parameters of objects – length and angle – was a method using bar scales obtained mechanically, but it was almost impossible to achieve values of less than a micron on their basis, especially for large lengths of the objects under study.

The coherent radiation sources (lasers) development in the early 60s of the last century and, thanks to them, a new science – holography – opened up new possibilities for transition from micro to nanosystems.

This allowed us to make a new non-contact method of recording linear and radial holographic diffraction gratings (LHDG and RHDG) using interference of coherent wave beams [1]. It is well known, that waves are coherent if their phase difference remains constant in time. Only coherent waves can give a stable interference pattern. However, there appeared a need, on the one hand, to obtain gratings with high uniformity of stroke arrangement, and on the other hand, to write down gratings of large aperture. Such gratings

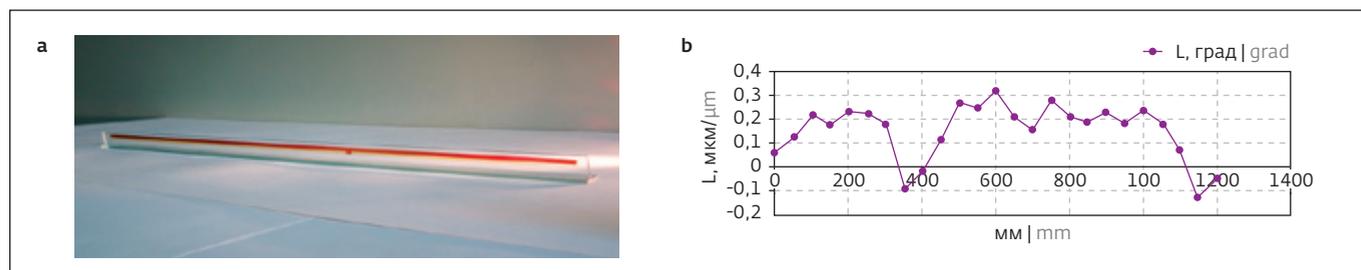


Рис.1. а – $L = 1\ 200$ мм, решетка с "0" меткой; б – фазовое распределение штрихов ЛГДР
Fig.1. а – $L = 1\ 200$ mm, grating with "0" label; б – phase distribution of LHDG strokes

Таблица 1. Характеристики ИзЛГДР

Table 1. Characteristics of MLHGD

Характеристики ИзЛГДР Characteristics of MLHGD	Единицы измерения Measuring units	Величина Value
Точность Accuracy	$\mu\text{m}/\text{m}$	$\pm 0,4$
Период решетки Period of the grating	μm	1
Длина решетки Length of the grating	mm	0-1 000 и более and more
Частота решетки Grating frequency	line/mm	1 000

необходимость, с одной стороны, получить решетки с высокой равномерностью расположения штрихов, а с другой стороны – записать решетки большой апертуры. Такие решетки были получены авторами данной статьи, которым удалось записать ЛГДР длиной 1 м 200 мм (рис.1а, б).

Для создания высокоточных ЛГДР больших длин до метра и более необходимо использовать метод синтеза апертуры голографического поля и соответствующее устройство для его реализации.

ОБОРУДОВАНИЕ

Метровые решетки с шагом 1 микрон были аттестованы во ВНИИМ им. Д.И.Менделеева. Сертификация метрологической линейной голографической дифракционной решетки МЛГДР с длиной $L=1000$ мм (1988 г.) произведена на Государственном первичном эталоне длины ВНИИМ им. Д.И.Менделеева.

Линейные голографические дифракционные решетки (ЛГДР) необходимы для создания датчиков и систем измерения линейных размеров объектов [2]. С этой целью используется принцип измерения на базе фотоэлектрического сканирования штрихов ЛГДР.

Высокоточная линейная измерительная ЛГДР представляет собой стеклянную подложку с нанесенной на нее высокоразрешающей фотоэмульсией. На фотоэмульсии записывается изображение решетки в виде параллельных штрихов, синусоидального вида по интенсивности. Точность расположения штрихов имеет неравномерность, не превышающую $0,01\lambda$, где λ – длина волны лазерного излучателя установки для записи дифракционной решетки.

were obtained by the authors of this paper, who managed to record a 1m 200 mm long LHDR (Fig.1a, b).

To develop the high-precision LHGDs of large lengths up to a metre and more it is necessary to use the method of synthesis of the holographic field aperture and an appropriate device for its implementation.

THE EQUIPMENT

Metre gratings with a step of 1 micron were certified in All-Russian Research Institute of Metrology named after D.I.Mendeleev. Certification of metrological linear holographic diffraction grating MLHGD with length $L=1000$ mm (1988) was performed at the State primary length standard of All-Russian Research Institute of Metrology named after D.I.Mendeleev.

Linear holographic diffraction gratings (LHGDs) are necessary for design of sensors and systems for measuring linear dimensions of objects [2]. For this purpose, the principle of measurement based on photoelectric scanning of LHGD strokes is used.

The high-precision linear measuring LHGD is a glass substrate with a high-resolution photographic emulsion applied to it. On the photoemulsion the grating image is recorded in the form of parallel strokes, sinusoidal in intensity. The accuracy of the strokes has an irregularity not exceeding 0.01λ , where λ is the wavelength of the laser emitter of the diffraction grating recording setup.

Linear holographic sensors (LHS) are measurement devices based on precision linear holographic diffraction gratings.

LHD devices are based on two precision diffraction gratings – a measuring grating (Fig.2) and an indicator (auxiliary). By moving one grating relative to the other and shining a laser light source, it is possible to make reading of information on length measurement or displacement value. When two crossed gratings are shined simultaneously by a laser beam, interference patterns are formed: moiré (Fig.3) or obturation fringes (Fig.4), which move across the field with a step of one fringe when the grating is displaced by one step. The width of the interference moiré fringe depends on the crossing angle of the gratings, while width of the interference skirt fringe depends on the difference in their period. The smaller the crossing angle of the gratings or the difference in their period, the wider the moiré or skirt fringe. Thus it is possible to fix the movement of gratings relative to each other by a photodetector with a working aperture much larger than the pitch of the grating itself. The photodetector is a matrix of photodiodes. The lattice pitch, chosen as $1\mu\text{m}$, is convenient for counting lattice steps, However, there are very few individual photodetectors with such an input aperture. To read the information it is necessary to place in the field of interference fringes a photodetector, for example, a photodiode and a DC amplifier, at the output of which we will receive



Линейные голографические датчики (ЛГД) представляют собой измерительные устройства на основе прецизионных линейных голографических дифракционных решеток.

Устройства ЛГД имеют в своей основе две прецизионные дифракционные решетки – измерительную (рис.2) и индикаторную (вспомогательную). Перемещая одну решетку относительно другой и просвечивая лазерным источником света, можно организовать считывание информации при измерении длины или величину перемещения. При просвечивании лазерным лучом одновременно двух скрещенных решеток образуются интерференционные картины: муаровые (рис.3) или обтюрационные полосы (рис.4), которые перемещаются по полю с шагом на одну полосу при смещении на один шаг решетки. Ширина интерференционной муаровой полосы зависит от угла скрещивания решеток, а ширина интерференционной обтюрационной полосы зависит от разницы в их периоде. Чем меньше угол скрещивания решеток или разницы в их периоде, тем шире муаровая или обтюрационная полоса. Таким образом можно зафиксировать перемещение решеток относительно друг друга фотоприемником с рабочей апертурой гораздо большей, чем шаг самой решетки. Фотоприемник представляет собой матрицу фотодиодов. Шаг решетки, выбранный в 1 мкм, удобен при счете шагов решетки. Тем не менее отдельных фотоприемников с такой входной апертурой очень немного. Для считывания информации необходимо поместить в поле интерференционных полос фотоприемник, к примеру, фотодиод и усилитель постоянного тока, на выходе которого мы получим синусоидальные сигналы (рис.5) в соответствии с перемещением решеток друг относительно друга.

Для определения направления движения решеток одной относительно другой, необходимо использовать два фотоприемника, сдвинутых по фазе полос [3]. С помощью формирователей можно получить прямоугольные сигналы, необходимые для работы счетчиков. Использование интерполяции данных в пределах одного шага приводит к повышению разрешения измерения не менее чем на два порядка.

Принципиальная схема считывающего устройства представлена на рис.6, где основная измерительная голографическая дифракционная решетка (ИзЛГДР):

- на стеклянную подложку нанесена высокоразрешающая эмульсия, и на ней записана непосредственно сама решетка;



Рис.2. Измерительная голографическая дифракционная решетка

Fig.2. Measuring holographic diffraction grating

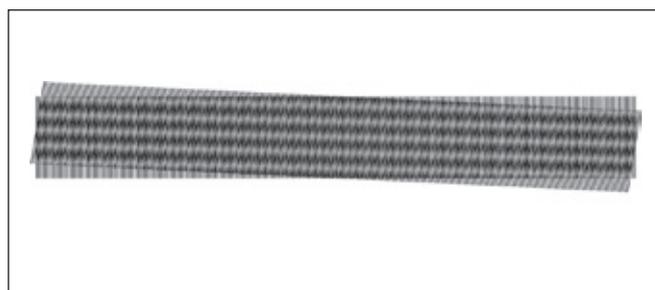


Рис.3. Муаровые полосы

Fig.3. Moiré stripes

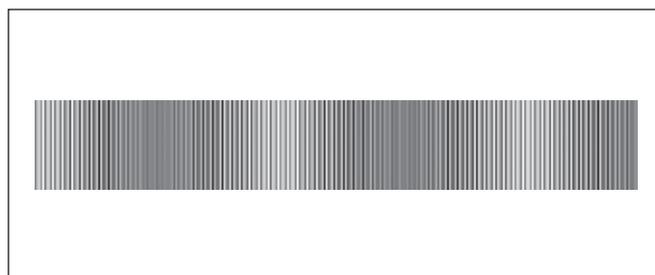


Рис.4. Обтюрационные полосы

Fig.4. Shuttering strips

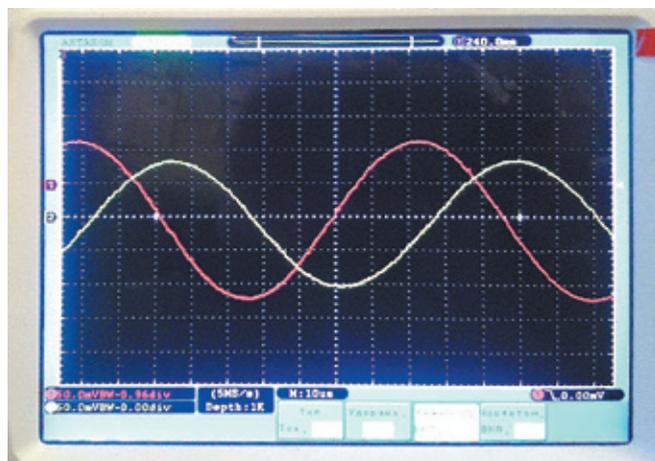


Рис.5. Синусоидальные сигналы

Fig.5. Sinusoidal signals

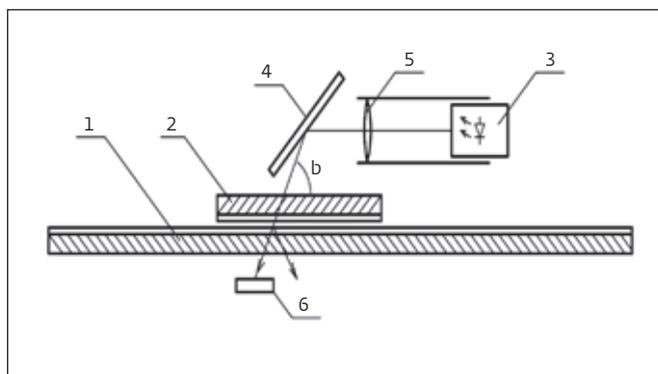


Рис.6. Принципиальная схема считывающего устройства датчика

Fig.6. Circuit diagram of the encoder reading device

- ее сдвиг влево на один шаг. Обе решетки расположены эмульсией друг к другу с малым зазором (80–100 мкм);
- лазерный излучатель 3 совместно с оптическим объективом 5 образуют осветитель;
- зеркало 4, позволяющее направить лазерный луч на решетках под углом Брэгга и далее на фотоприемник 6.

Элементы 2, 3, 4, 5 и 6 жестко скреплены между собой и образуют считывающую головку. Перемещая считывающую головку относительно основной измерительной решетки (1) или наоборот, основной ЛизмГДР – относительно считывающей головки, производится измерение перемещения. В реальных устройствах используется один из этих вариантов.

На выходе фотоматрицы мы получаем два сигнала, сдвинутых относительно друг друга на 90° по фазе интерференционных полос, которые позволяют производить как подсчет штрихов решетки, так и применять интерполяцию в пределах шага решетки. Блок электроники позволяет работать как в автономном режиме, так и вместе с компьютером, что позволяет измеренную информацию использовать для более сложных измерительных систем.

Обтюрационные полосы похожи на муаровые, но расположены параллельно относительно штрихов решетки.

Голографические дилномеры представляют собой измерительные устройства на основе прецизионных голографических дифракционных решеток (ГДР). Для создания высокоточных ГДР больших длин до метра и более необходимо использовать метод синтеза апертуры голографического поля и соответствующее устройство для его реализации.

Голографические дилномеры ДГ-30, ДГ-100 и ДГ-200 показаны на рис.7. Приборы предназначены для измерений в пределах соответственно 30, 100 и 200 мм с разрешением 0,01 мкм.

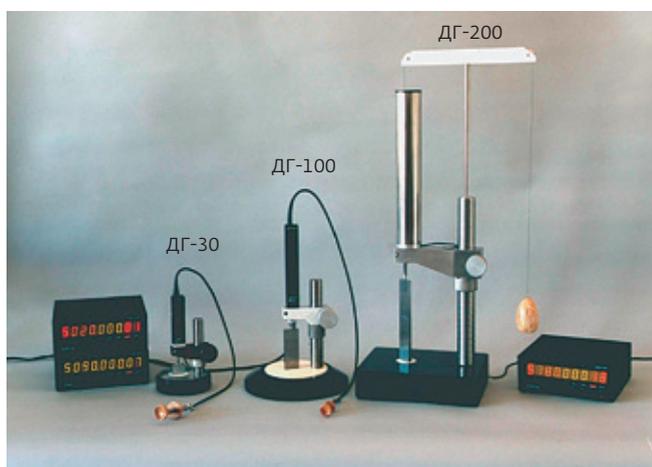


Рис.7. Голографические дилномеры ДГ-30, ДГ-100 и ДГ-200
Fig.7. Holographic length encoders DG-30, DG-100 and DG-200

sinusoidal signals (Fig.4) in accordance with the movement of gratings relative to each other.

To determine the direction of gratings movement one relative to the other, it is necessary to use two photodetectors of phase-shifted strips [3]. With the help of shapers it is possible to obtain rectangular signals necessary for the counters operation. The use of data interpolation within one step leads to an increase in measurement resolution by at least two orders of magnitude.

The circuit diagram of the reader is shown in Fig.5, where the main measuring holographic diffraction grating (MLHDC):

- high-resolution emulsion is applied to the glass substrate and the grating itself is directly recorded thereon;
- the auxiliary grating 2 is such with the corresponding stroke frequency. Both gratings are arranged emulsion to each other with a small gap (80–100 μm);
- a laser emitter 3, together with an optical lens 5 forming an illuminator;
- mirror 4, allowing to direct the laser beam on the gratings under the Bragg angle and further on the photodetector 6.
- The elements 2, 3, 4, 5 and 6 are rigidly fastened together and form the readhead. By moving the reading head relative to the main measuring grating (1) or vice versa, the main MLHDC relative to a reading head, displacement is measured. In real devices one of these variants is used.

At the output of the photomatrix we receive two signals shifted relative to each other by 90 degrees in the phase of interference fringes, which allow both counting of grating strokes and interpolation within the grating step. The electronics unit allows to operate both in stand-alone mode and together with a computer, which



Рис.8. Длинномер ДГ-300 с датчиком касания
Fig.8. Length encoder DG-300 with touch sensor

Эти длинномеры разработаны и изготовлены Лабораторией голографических информационных измерительных систем (ЛГИИС) Петербургского института ядерной физики НИЦ "Курчатовский институт". Проверка и калибровка приборов по специальным "концевым мерам" может быть произведена как автономно, так и при подключении (онлайн) с персонального компьютера. На рис.8 изображен длинномер с пределом измерения 300 мм [4], с автоматическим режимом работы, с датчиком касания, построенным на дополнительной решетке, позволяющей определять с высокой точностью момент касания щупа к измеряемой детали. Щуп касания измерительного штока организован с помощью третьей миниатюрной решетки такой же частоты, как и основные счетные решетки. Щуп касания механически соединен с дополнительной решеткой (третьей) и при касании датчика с измеряемым объектом начинается движение вспомогательной решетки в противоположном к основной решетке направлении и счет этой дополнительной решетки вычитается из основного счета.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

В начале счета на вспомогательной решетке вырабатывается команда останова приводного двигателя, таким образом, компенсируется "выбег" двигателя, а усилие щупа получается минимальным. Показания измерений фиксируются с помощью компьютера и записываются для дальнейшей обработки, после чего подается команда подъема измерительной решетки. Длина измерительных приборов естественно зависит от длины основной ЛизмГДР. Были изготовлены решетки длиной 300, 400, 500-1300 мм.

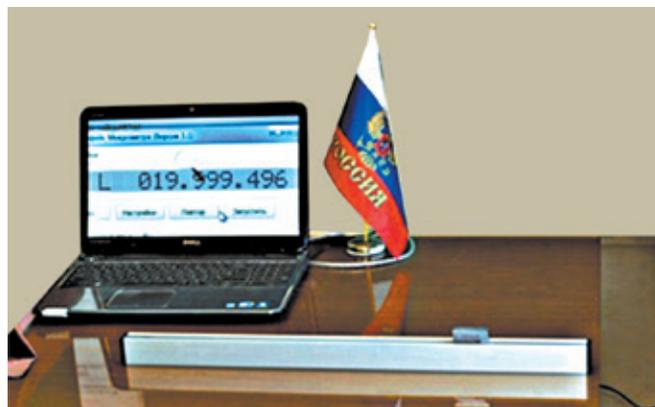


Рис.9. Линейный голографический нанодатчик
Fig.9. Linear holographic nano-encoderr

allows the measured information to be used for more complex measurement systems.

The obturator strokes, similar to moiré, are parallel with respect to the bars of the lattice.

Holographic length encoders are measuring devices based on precision holographic diffraction gratings (HDGs). For developing of high-precision HDGs of large lengths up to a metre and more it is necessary to use the method of synthesis of the holographic field aperture and the corresponding device for its implementation.

Holographic length gauges DG-30, DG-100 and DG-200 are shown in Fig.7. The devices are designed for measurements within 30 mm, 100 mm and 200 mm, respectively, with a resolution of 0.01 μm . These length encoders are designed and manufactured by the Laboratory of Holographic Information Measurement Systems (LHIMS) of the St. Petersburg Institute of Nuclear Physics, SIC "Kurchatov Institute". The devices can be checked and calibrated by special "end measures" both autonomously and when connected (on line) to a personal computer. Fig.8 shows a length gauge with a measuring limit of 300 mm [4], with automatic mode of operation, with a touch probe built on an additional grating that allows to determine with high accuracy the moment of touch of the stylus to the measured part. The touch probe of the measuring rod is organised by means of a third miniature grating of the same frequency as the main counting grating. The touch probe is mechanically connected to the auxiliary grating (the third one) and when the probe touches the measured object, the movement of the auxiliary grating starts in the opposite direction to the main grating and the count of this auxiliary grating is subtracted from the main count.

METHODS OF MEASURING

At the start of the count, the auxiliary grating is commanded to stop the drive motor, thus compensating for motor runaway and minimising stylus force. The

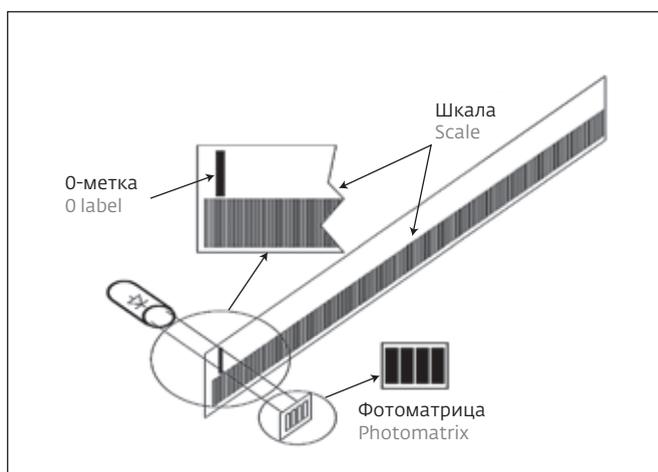


Рис.10. Расположение "0-метки" на ЛизмГДР
Fig.10. Location of the "0-label" on the MLHDG

На рис.9 показан линейный голографический нанодатчик с длиной 500 мм [4–6].

На любой измерительной линейке есть "нуль отсчета" и все привязки измерений производятся от нуля. Для голографической линейки разработана метка ("0-метка", НМ).

НМ представляет собой одиночный, непрозрачный штрих (рис.10) вне зоны рабочей части измерительной дифракционной решетки. Съем информации производится с помощью четырех фотодиодов, расположенных последовательно вдоль направления перемещения головки считывания, объединенных в две группы по два фотодиода, соединенных встречно-параллельно и включенных дифференциальным способом на входы двух усилителей постоянного тока, что позволяет получить два сбалансированных сигнала, сдвинутых относительно друг друга и не зависящих от внешней засветки и синфазной помехи.

При прохождении тени от штриха на фотоматрице возникают сигналы, похожие на синусоидальные. Трехкоординатные измерения линейных объектов постоянно нуждаются в улучшениях. В первую очередь требуется повышение точности, далее уменьшение затрат времени на измерения, автоматизация измерений и оптимизация действий оператора.

Оснащение наноголографическими высокоточными датчиками и компьютеризация микроскопов существенно совершенствует их метрологические и эксплуатационные характеристики. 3D НАНО УИМ (рис.11) предназначено для прецизионных измерений трех координат в ортогональной системе с выводом результатов на компьютер.

Прибор оснащается высокоточными линейными датчиками на голографических



Рис.11. Универсальный измерительный микроскоп
Fig.11. Universal measuring microscope

measurement readings are captured by the computer and recorded for further processing, followed by a command to raise the probe array. The length of the gauges naturally depends on the length of the main MLHDG. Grids with lengths of 300 mm, 400 mm, 500–1300 mm have been produced.

Figure 9 shows a linear holographic nanosensor with a length of 500 mm [4–6].

On any measuring ruler there is a "zero reference" and all measurement references are made from zero. A label ("0-tag", NM) has been developed for the holographic ruler.

NM is a single, opaque stroke (Fig.10) outside the area of the working part of the measuring diffraction grating. The information is captured by means of 4 photodiodes located sequentially along the reading head movement direction combined in two groups of two photodiodes, connected in counter-parallel and included in a differential way to the inputs of two DC amplifiers, which allows to obtain two balanced signals, shifted relative to each other and independent of external illumination and in-phase interference.

When the shadow of a stroke passes over the photo matrix, sinusoidal-like signals are produced. Three-axis measurement of linear objects is in constant need of improvement. The first requirement is to improve accuracy, then to reduce measurement time, to automate measurements and to optimise operator performance.

Equipping with nano-holographic high-precision sensors and computerisation of microscopes significantly improves their metrological and operational characteristics. 3D nano UIM (Fig.11) is designed for precision measurements of three coordinates in orthogonal system with output of results to a computer.



Num	X	Y	Z
11	0	0	-11956106
12	0	0	-11956106
13	0	0	-18222675
14	0	0	-18221769
15	0	0	-18221769
16	0	0	-15733847
17	0	0	-15733847
18	0	0	-13417841
19	0	0	13417841

Рис.12. Табл. 3 координат на УИМ-23

Fig.12. Table 3 coordinates of UIM-23

дифракционных решетках. Точность измерений на таких модернизированных приборах увеличивается как минимум на порядок. 3-координатная измерительная машина представлена на рис.11. Программное обеспечение позволяет одновременно отслеживать три координаты (рис.12).

На рис.13 изображена 4-координатная автоматическая измерительная машина. Так как в данной машине для точного измерения по координате X используются два датчика Y, расположенных по противоположным направлениям, по которым движется мост с измерительной решеткой по координате Y, а по данному мосту движется измерительная головка для измерения по координате Z. Две решетки по координате Y задействованы для компенсации изгиба моста, а точнее – для компенсации люфта одно-стороннего привода движения по Y и расчета точного положения измерительной головки по координате X.

Стенд для проверки (тестирования) линейных голографических датчиков ЛДГ (рис.14) имеет возможность проверять одновременно три датчика. Платформа позволяет их перемещать одновременно, при этом один датчик использовать в качестве эталона и одновременно оцифровывать два других. Оцифрованные данные позволяют сразу же за один проход получить характеристики двух других в цифровом и графическом виде.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой

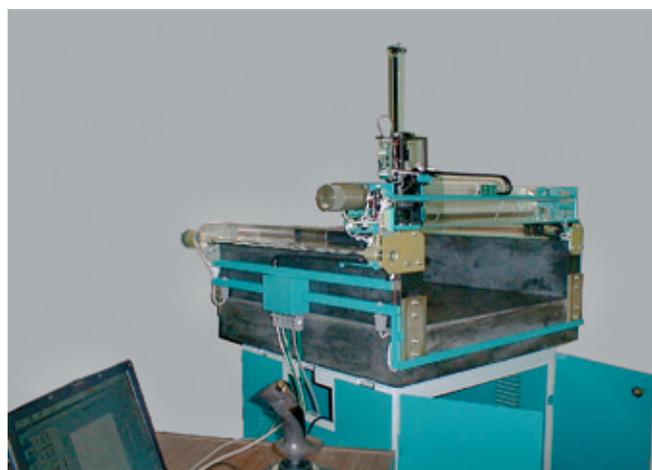


Рис.13. 4-координатная автоматическая измерительная машина

Fig.13. 4-axis automatic measuring machine

The device is equipped with high-precision linear sensors on holographic diffraction gratings. The accuracy of measurements on such modernised devices is increased by at least an order of magnitude. The 3-axis measuring machine is shown in Fig.11. The software allows simultaneous tracking of 3 coordinates (Fig.12).

Figure 13 shows a 4-axis automatic measuring machine. Since in this machine for precise measurement in X coordinate two Y sensors are used, located on opposite guides, on which a bridge with a measuring grid in Y coordinate moves, and on this bridge moves a measuring head for measurement in Z coordinate. The two Y-coordinate grids are used to compensate for the bending of the bridge, more precisely to compensate for the backlash of the one-way Y-coordinate drive and to calculate the exact position of the X-coordinate measuring head.

The stand for testing of linear holographic sensors LHG (Fig.14) has a possibility to test 3 sensors simultaneously. The platform allows to move 3 sensors simultaneously, while using one sensor as a reference and digitising the other two sensors at the same time. The digitised data allows to obtain the characteristics of the other two sensors in digital and graphical form in 1 pass.

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.



Рис.14. Стенд для проверки датчиков линейного перемещения
Fig.14. Stand for verification of linear encoders

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., Якутович В.Н. Измерительная микрометрическая головка "ТУБОР". Патент РФ № 2 032 142. 27.03.1995, пр. 19.03.1992.
2. Турухано Б.Г., Турухано Н. Фотоэлектрические преобразователи линейных перемещений на базе голографических решеток // Оптический журнал. 2002. Т. 69, № 8.
3. Турухано Б.Г., Турухано И.А., Турухано Н. Измерение перемещения с помощью подвижной голографической дифракционной решетки в интерференционном поле // НАНОИНДУСТРИЯ 2022. Т. 15, № 1. С. 47-54, 2022. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.1.46.56>
4. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырн В.В., Кормин Е.А., Кормин В.Е. "Нанометр НДГ-70" – голографический высокоразрешающий длинномер // НАНОИНДУСТРИЯ. 2012. Т. 34, № 4. 2012.
5. Координатно-измерительная машина (КИМ). Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырн В.В., Кормин В.Е. Патент РФ № 2 307 321, пр. 22.09.2005, 27.09.2007.
6. Турухано Б.Г., Турухано Н., Лавров Ю.М., Ермоленко О.Г., Ханов С.Н. Линейный наноизмерительный голографический датчик // НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 1. С. 58-68. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.1.58.68>



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Юрген Бёккер
СПЕКТРОСКОПИЯ

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 528 с., ISBN 978-5-94836-220-5

Цена 760 руб.

Спектроскопия как средство описания атомов, ионов и молекул с помощью типовых длин волн, измеряемых при возбуждении, принадлежит сегодня к важнейшим и самым распространенным методам инструментальной аналитики. Специальные измерительные устройства, в том числе абсорбционные и эмиссионные спектрометры, обеспечивают точное определение количественного и качественного состава газообразных, жидких и твердых веществ.

В книге дается обзор разных методов атомной и молекулярной спектрометрии и рассматриваются многие аналитические проблемы, решаемые в лабораториях промышленных предприятий, в естественнонаучных и технических учреждениях, а также проблемы изучения и защиты объектов окружающей среды. В книге представлена широкая гамма существующих методов исследования, а также перечень приборов с руководством по их применению.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru

30.10–02.11.2023

www.chemistry-expo.ru



26-я международная выставка химической промышленности и науки

ХИМИЯ

ХИМИЯ



Инновации и современные материалы



Нефтегазохимия



Startup ChemZone



Автоматизация и цифровизация производства



Химмаш. Насосы



Хим-Лаб-Аналит



Зеленая химия



Индустрия пластмасс



Защита от коррозии «КОРРУС»

При поддержке:
• Министерства промышленности и торговли РФ
• Российского Союза химиков
• ОАО «НИИТЭХИМ»
• Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
• Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
• РХТУ им. Д.И. Менделеева

Под патронатом ТПП РФ



12+

Реклама



Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Организатор



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ**



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphere.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru