



# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ НАНОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И СИСТЕМА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ЛГИИС<sup>®</sup>

## DOMESTIC HOLOGRAPHIC NANO-MEASURING SYSTEMS OF LINEAR AND ANGULAR DISPLACEMENTS AND THE LGIIS<sup>®</sup> HOLOGRAPHIC MEMORY SYSTEM

Б.Г.Турухано<sup>\*\*</sup>, заведующий ЛГИИС, заслуженный изобретатель РФ, Н.Турухано<sup>\*\*</sup>, вед. науч. сотр., заслуженный изобретатель РФ, В.В.Добырн<sup>\*\*</sup>, ст. науч. сотр., Ю.М.Лавров<sup>\*\*</sup>, науч. сотр., С.Н.Ханов<sup>\*\*</sup>, инженер-электронщик, О.Г.Ермоленко<sup>\*\*</sup>, вед. инженер-технолог, Л.А.Константинов<sup>\*\*</sup>, вед. инженер, В.Г.Толчин<sup>\*\*</sup>, ст. науч. сотр., Н.А.Щипунова<sup>\*\*</sup>, вед. инженер-технолог / turukhano\_bg@pnpi.nrcki.ru  
 B.G.Turukhano<sup>\*\*</sup>, Head of LGIIS, Honored Inventor of RF, N.Turukhano<sup>\*\*</sup>, Leading Researcher, Honored Inventor of RF, V.V.Dobyrn<sup>\*\*</sup>, Senior Researcher, Yu.M.Lavrov<sup>\*\*</sup>, Researcher, S.N.Khanov<sup>\*\*</sup>, Engineer (Electronics), O.G.Ermolenko<sup>\*\*</sup>, Leading Process Engineer, L.A.Konstantinov<sup>\*\*</sup>, Leading Engineer, V.G.Tolchin<sup>\*\*</sup>, Senior Researcher, N.A.Schipunova<sup>\*\*</sup>, Leading Process Engineer

DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.7-8.456.459

Получено: 23.10.2019 г.

Уровень измерительных инструментов для нанодиапазона определяет уровень развития науки и технологии, а в конечном счете – экономику любого развитого государства. Как сказал отец российской метрологии Д.И.Менделеев: "Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука не мыслима без меры". В данной статье показано, какие результаты достигнуты ЛГИИС в области измерения линейных и угловых перемещений, начиная от фундаментальных исследований до создания конкретных нанометрологических систем с разрешением до 1 нм и 0,01 угл. с. Часть из этих систем не имеют аналогов в мире.

The level of measuring instruments for the nano-range determines the level of development of science and technology, and ultimately, the economy of any developed state. According to the father of Russian metrology D.I. Mendeleev "Science begins from the moment they begin to measure. Exact science is inconceivable without measure". This article shows what results LGIIS has achieved in the field of measuring linear and angular displacements, from basic research to the creation of specific nano-scale systems with a resolution of up to 1 nm and 0.01 angular sec. Some of these systems have no analogues in the world.

**И**зобретение когерентных источников излучения – лазеров, произвело взрыв в науке и заложило основу новых научных направлений и открытий. Среди них в 1965 году была и наука, названная голограмией, основанная на интерференции света. Несмотря на то, что она была открыта еще ранее в 1948 году английским ученым Денисом

Габором, она не была реализована на практике из-за отсутствия источников когерентного излучения. Этим явлением в 1965 году воспользовался и Б.Г.Турухано, интуитивно понимая, что именно интерференция когерентного излучения с очень маленькой длиной волны света в оптическом диапазоне (0,63 мкм) приведет к новым рубежам высоких

<sup>\*</sup> ЛГИИС – Лаборатория голограмических информационных и измерительных систем / LGIIS, Laboratory of holographic information and measurement systems  
 \*\* НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ, г. Гатчина / NRC "Kurchatov Institute", Gatchina



точностей в науке и метрологии и позволит создать бесконтактным способом метрологические решетки для измерительных систем высочайшей точности, о которых метрологи только мечтали [1, 2]. Конечно, смена курса классических измерительных систем, основанных на линейных и радиальных дифракционных решетках, изготовленных механическим способом, была весьма оправдана.

Для начала были проведены фундаментальные исследования по определению свойств оптических интерференционных полей (ИП) в части их линейности с целью возможного копирования на материальных носителях. Фундаментальные исследования в ЛГИИС позволили создать линейные и радиальные ИП, которые адаптировались под поставленные нами задачи создания интерференционных полей с высокой частотой и равномерностью линий при их линейном или радиальном расположении. На базе этих полей удалось записать метрологические линейные голографические дифракционные решетки (МЛГДР), с тысячей штрихов/мм и большой равномерностью штрихов, превышающей все существующие аналоги. Более того, был изобретен [3] метод синтеза этих решеток из отдельных линейных интерференционных участков ИП с нанометрической точностью. Этим методом до сих пор владеет только ЛГИИС. На базе этого метода в 80-е годы прошлого столетия были успешно записаны МЛГДР с длиной до 1200 мм. Ныне лаборатория может записывать их и без ограничения по длине. МЛГДР, а позже и радиальные решетки – МРГДР [4], были записаны на базе галогенидосеребряных эмульсий, нанесенных на стеклянные подложки, что весьма удобно, так как такие голографические решетки дают всего два порядка дифракции. Датчики линейных и радиальных перемещений (ДЛП) и (ДРП) были аттестованы в ВНИИМ им. Д.И.Менделеева.

Результаты аттестации показали, что их характеристики превосходят все мировые аналоги. Бурное развитие технологий и их переход в область нанотехнологий практически во всех сферах науки и промышленности связан в том числе и с усовершенствованием способов контроля и внедрения новых средств измерения и измерительных приборов.

Одно из ведущих мест в процессе контроля занимают эталоны и контрольно-измерительные системы, обладающие высокой точностью, а сейчас и наноточностью. К сожалению, необходимость повышения точности измерительных приборов растет быстрее, чем возможность реализации последних, хотя известна аксиома, что "если нельзя измерить, то нельзя создать", особенно

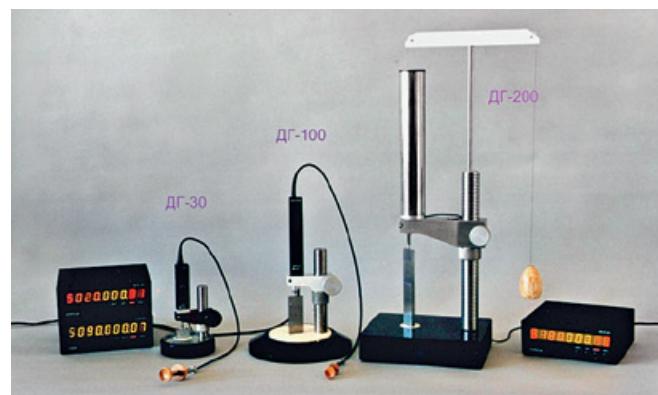


Рис.1. Длиномеры голографические: ДГ-30, ДГ-100, ДГ-200  
Fig.1. Length meters, holographic: DG-30, DG-100, DG-200

сейчас, когда происходит бурный экспоненциальный рост высоких технологий. Практически все измерения в оптике сводятся к измерению длин и углов, в связи с чем мы проводим работы именно в данном направлении. Сегодня уже ясно, что та точность, которую имеют эталоны, недостаточна для решения ряда фундаментальных физических задач, в том числе и прикладных, научно-технических. Очень малые перемещения теперь востребованы и в нанотехнологиях. Благодаря рекордной точности МЛГДР и МРГДР, лаборатории ЛГИИС удалось разработать и впервые создать высокопрецизионные отечественные голографические линейные и радиальные фотоэлектрические преобразователи (датчики) линейных и угловых перемещений, которые сейчас уже имеют разрешение до 1 нм и 0,01 угл. с. На базе этих датчиков созданы уникальные отечественные измерительные системы (ИС). С помощью государства в 1988-89 годах в кратчайший срок – 8 мес. – Ленметрогипротрансом спроектирована, а Ленметростроем построена уникальная вибро- и термостабилизированная подземная лаборатория (ПЛ) глубиной 14 м и организовано производство датчиков линейных перемещений на заводе "МИКРОН". Подземная лаборатория позволила расположить в ней автоматизированные адаптивные голографические интерферометры и аттестационные устройства ИС ЛГИИС. Нам удалось осуществить более 15 ИС и запатентовать их. В настоящее время лаборатория владеет 65 патентами, из которых 29 – зарубежных ведущих промышленно развитых государств. Ниже мы отметим некоторые из ультрапрецизионных наноразработок ЛГИИС, не имеющих зарубежных аналогов.

1. Длиномеры голографические: ДГ-30, ДГ-100, ДГ-200 с разрешением 10 нм (рис.1) [5, 6].



Рис.2. Ультрапрецизионный наноизмерительный двухшпиндельный зеркальный гониометр – НАНО ДЗГ

Fig.2. Ultra precision Nano-measuring duplex mirror goniometer – NANO D3G

2. Линейный датчик голограммический (ЛДГ), плоскомер голограммический (ПГ), радиусомер голограммический портативный (РМГ-П-10 000).
3. Трехкоординатная наноизмерительная машина голограммическая – 3D НАНО КИМ [8] – работает сейчас в г. Нагоя, на самой крупной в мире японской станкостроительной фирме MAZAK Co.
4. Универсальные измерительные микроскопы УИМ-23. ЛГИИС оснастила УИМ-23 с наноИС, превратив их в 3D НАНО КИМ. Точность микроскопов по объему выросла с 9 до 0,6 мкм. Эти микроскопы



Рис.3. Академик Г.Н.Флеров в ЛГИИС

Fig.3. Academician G.N.Flerov in LGIIS

были выпущены на ЛОМО в СССР в огромном количестве и используются до сих пор на многих предприятиях для контроля деталей. Управление осуществляется от ПК. Такие микроскопы уже действуют на двух предприятиях России.

5. Радиальные решетки МРГДР [4, 5] и угловые датчики на их основе.

6. Поворотные столы ПСГ для сертификации космических систем наведения (рис.2).

Эти и другие ИС ЛГИИС демонстрировались на многочисленных международных и российских выставках, на которых они были удостоены многих дипломов и медалей.

Лабораторию ЛГИИС периодически посещали выдающиеся российские и иностранные ученые, среди которых: академик Георгий Николаевич Флеров (рис.3). Во время войны И.В.Сталин отозвал его с фронта, и он стал руководить работами по созданию атомной бомбы, которую он и предложил, будучи лейтенантом.

Интересно также посещение ЛГИИС в 1974 году Петром Леонидовичем Капицей (рис.4). Резерфорд сделал купчую на имя П.Л.Капицы на лужайку перед своим домом, без которой нельзя было сделать его сэром. Лабораторию ЛГИИС посещали также множество представителей науки, промышленности и политические деятели России и иностранных государств, такие как вице-президент станкостроительного объединения ООО "СТАН" Р.В.Звягинцев, заместитель генерального секретаря ЕврАЗЭС С.Ю.Глазьев, Дж. Гудман, Делабуа, Вильфорд.



Рис.4. Академик, лауреат Нобелевской премии П.Л.Капица в ЛГИИС, где Б.Г.Турухано демонстрирует голограммическую память (в углу виден голограммический диск)

Fig.4. Academician, Nobel Prize P.L.Kapitsa in LGIIS, where B.G.Turukhano demonstrates holographic memory (see holographic disk in the corner)

ЛГИИС участвовала во множестве международных выставок по голографии в России и за рубежом, в частности в Бомбее, Генуе, Мюнхене, Карлсруэ, Франкфурте-на-Майне, Лондоне, а на последней Б.Г.Турухано был ее директором. Благодаря высокому уровню разработок ЛГИИС, они были представлены также на форуме "АРМИЯ-2015". На 14-м форуме "Точные измерения – основа качества и безопасности" в 2018 году была получена золотая медаль (рис.5).

В результате участия ЛГИИС в этом форуме представители ВПК в 2016 году приобрели две наноразработки нашей лаборатории.

Лаборатория в семидесятые годы прошлого столетия занималась также исследованиями и разработкой голографической памяти [9, 10]. Как ученому или конструктору найти сведения об интересующих его материалах, изделиях, результатах исследований в огромном массиве информации? И тут голография оказалась очень полезной. Способность голограммы фиксировать огромное количество информации, принесенной лазерным лучом, позволила создать не только систему голографической памяти большой емкости, но и автоматизировать поиск нужных сведений.

В каждой технической новинке есть свое главное "зерно" – удачно найденное решение, помогающее воплотить в жизнь идею создателей. Для ленинградских физиков таким "зерном" стал плоский стеклянный диск диаметром 400 мм и толщиной 5 мм, покрытый высокоразрешающей фотоэмальсией. На одном диске удалось расположить более 10 тыс. страниц текста, что по объему равнялось около 3 ГБ информации. На указанном диске записывалась патентная информация.

Система – "информационная машина с голографической памятью" с управлением от ЭВМ и специальной поисковой программой – была установлена в Государственной библиотеке СССР им. В.И.Ленина в Москве. Эта же система была успешно передана военным морякам. Следует заметить, что данная разработка проводилась в те времена, когда вычислительная техника была еще в том состоянии, когда обрабатываемая информация измерялась в килобайтах, жесткие диски имели емкость не более 1÷2 Гб, а оптических приводов вообще не было.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Turukhano B.G., Gordeev S.V., Gorelik V.P., Turukhano N. Investigation of interference field phase distribution with a lateral shearing interferometer // Opt. Commun. 1982. V. 41. No 2. P. 75–78.
2. Гордеев С.В., Горелик В.П., Турухано Б.Г., Турухано Н. Исследование метрологических харак-



Рис.5. Награда ЛГИИС на форуме "Точные измерения – основа качества и безопасности" – золотая медаль

Fig.5. Golden medal "Precise measurements – the basis of quality and safety"

теристик голографических решеток // Материалы XIV Всесоюзной школы по голографии. – Л., ЛИЯФ, 1982. С. 31–33.

3. Turukhano B.G., Turukhano N. Phase synthesis of holographic metrological diffraction gratings of unlimited length // Optics & Laser Technology, 1996. V. 28. № 4. P. 263–268.
4. Turukhano B.G. Reseau holographique de diffraction. Patent Switzerland 673343. 1987. Filed 08.12.1985 g.
5. Турухано Б.Г., Турухано Н. Субмикрометры высокого разрешения на основе голографических решеток. Препринт ПИЯФ РАН ЕР-39.2000. № 2382.
6. Турухано Б.Г., Турухано Н., Якутович В.Н. Микрометрическая головка "ТУБОР". Патент РФ № 2 032 142. 1992. Пр. 19.03.1991 г.
7. Турухано Б.Г., Турухано Н. Датчик линейных перемещений. Патент РФ № 2534378. 2014. Пр. 13 мая 2013 г.
8. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырн В.В., Кормин В.Е. Координатно-измерительная машина (КИМ). Патент РФ №2 307 321. 2007. Пр. 22.09.2005 г.
9. Толчин В.Г., Турухано Б.Г. Дисковая система голографической памяти // Материалы VI Всесоюзной школы по голографии. – Л.: ЛИЯФ, 1974. С. 303–328.
10. Толчин В.В., Турухано Б.Г. Читально-копировальное устройство с голографическим носителем информации. Патент РФ №1 833 012. 1989. Пр. 04.09.1987 г.