

## СИНТЕЗ АПЕРТУРЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПОЛЯ

Турухано Б.Г., Турухано Н., Вилков Е.А.

Учреждение Российской академии наук

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН

### Аннотация

Описан синтез апертуры интерференционного поля в оптическом диапазоне, позволяющий записать широкоапертурные прецизионные линейные и радиальные голографические дифракционные решётки. Разработанный авторами метод фазовой модуляции позволил увеличить точность фазовых измерений при синтезе голографических дифракционных решёток, благодаря чему в настоящее время создаются линейные и угловые измерительные системы, обладающие наноразрешением.

**Ключевые слова:** синтез апертуры, интерференционное поле, линейные и радиальные голографические дифракционные решётки, нанометрология, наноизмерительные системы.

### Введение

Синтезом апертуры интерференционного поля (ИП) будем считать фазированное соединение с высокой степенью точности участков интерференционного поля и последовательную запись этих участков на светочувствительный носитель.

Синтез апертуры в радиолокационном диапазоне привёл к сверхразрешающему видению предметов на земле со спутников и самолётов.

Существует ли синтез апертуры в живой природе, где требуется сверхразрешение, необходимое для выживания? Известно, что дельфины обладают способностью различать размеры предметов много меньше длины волны ультразвука, с помощью которого они ориентируются в мутной воде. При этом был обнаружен мощный нерв, идущий от излучателя ультразвука в мозг дельфина – необъяснимый факт. Можно привести также пример летучих мышей, которые в тёмном помещении могут летать между тонкими проволоками и не наткнуться на них. По критерию Аббе-Релея они их не должны видеть! Но, когда природе необходимо решить сложные задачи, она находит решение, причём удивительное и оптимальное.

В работе [1] авторы предположили, что и дельфины, и летучие мыши производят синтез апертуры за счёт запоминания в мозгу фазированной картины, образованной интерференцией отражённой от предмета и вспомогательной волн от ультразвукового источника. Запоминание и накопление этой информации происходит за время, необходимое для синтеза такой апертуры, которая позволила бы им идентифицировать указанный объект.

Конечно, хотелось бы узнать детали этого процесса у дельфинов и летучих мышей, но мы, к сожалению, при всём нашем интеллекте не сумели ещё разгадать их язык (!) и можно лишь делать различные предположения.

Какой критерий необходим для синтеза апертуры? Он очевиден: если создаём волновой образ по фрагментам, то точность соединения фрагментов должна быть  $\Delta_{фр} \ll \lambda$ , чтобы ошибка всего образа была меньше  $\lambda$ .

Если Лейт и Упатниекс [2] перешли к голографии от синтеза апертуры в радиолокационном диапазоне, то авторы пришли к синтезу апертуры ИП в оптическом диапазоне от голографии.

Эти оба направления по синтезу апертуры продолжают развиваться в настоящее время, к примеру авторы работ [3, 4] используют метод синтеза апертуры для зондирования Земли, а также для синтеза апертуры антенны.

В оптическом диапазоне совершенствование метода синтеза апертуры ИП позволило создать уникальные по точности и разрешению приборы [5, 6, 7].

Авторы стремились создать сверхточные голографические дифракционные решётки – линейные (ЛГДР) неограниченной длины [8] и радиальные (РГДР) [12], необходимые для изготовления прецизионных наноизмерительных систем.

### 1. Синтез апертуры линейного интерференционного поля

Сразу стало очевидно, что синтезировать интерференционную линейную структуру неограниченной длины можно, используя лишь ограниченный фрагмент ИП, т.к. создание плоского волнового фронта с апертурой более 1 метра и абберациями  $\sim \lambda/100$  – практически неразрешимая задача.

Коррекция ошибок при высокоточном синтезе апертуры ЛГДР по отдельным фрагментам ИП ставит определённые требования к точности соединения отдельных фрагментов ИП, а именно: погрешность фазированного соединения этих фрагментов  $\Delta_{фр}$  должна удовлетворять следующему условию:

$$\Delta_{фр} \ll \lambda, \quad (1)$$

т.е. она должна быть порядка нескольких нанометров.

При переходе к практической реализации синтеза апертуры ЛГДР неограниченной длины пришлось решать две задачи:

1. Контролировать равномерность фазового распределения интерференционного поля (ФРИП) с точностью  $\sim \lambda/100$  для выбора коллимирующей оптики интерферометра и его оптимальной настройки [9, 10].

2. Разработать сам процесс синтеза ЛГДР по отдельному фрагменту ИП таким образом, чтобы ре-

зультат соответствовал как бы ИП неограниченной длины, скопированному в виде линейной голографической дифракционной решётки [11].

Первую задачу удалось решить, используя два метода.

Первый метод заключается в использовании ЛГДР, согласованной с ИП и жёстко связанными с ней фотоприёмниками [9], и в измерении разности фаз между фотоприёмниками. При этом измерения не будут зависеть от изменения интенсивности освещающего лазера и aberrаций системы, которые будут аддитивно входить в каждый акт измерений.

Для осуществления измерений разности фаз с более высокой точностью был разработан второй метод двухчастотной фазовой модуляции [10]. ИП модулируется с помощью пьезокерамической ячейки на частоте  $\omega$  и  $2\omega$ . Эта модуляция применяется не только при исследовании ФРИП, но и при синтезе ЛГДР неограниченной длины. Этот вид модуляции успешно работает при амплитудах модуляции менее  $\lambda/10$ , что позволяет использовать её в процессе записи ЛГДР. При исследовании ФРИП и при синтезе ЛГДР были выбраны следующие амплитуды модуляции:

$$a_{\omega} = 0,03 \text{ мкм}, a_{2\omega} = 0,08 \text{ мкм}.$$

Было найдено аналитическое рекуррентное выражение для двухмерного ФРИП [11]:

$$\begin{aligned} \Psi(x_0 + iu, y_0 + jv) = \\ = \Psi_{0j} + \frac{i}{N}(\Psi_{Nj} - \Psi_{0j}) - \frac{i}{N} \sum_{k=1}^N \Delta\varphi_{kj} + \sum_{k=1}^i \Delta\varphi_{ki}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $N$  – число измерений вдоль оси  $OX$  (перпендикулярной полосам ИП), а  $u$  – расстояние между двумя точками на голографической решётке, в которых измеряется разность фаз  $\varphi_{ki}$ . Ось  $OY$  направлена вдоль полос ИП и  $v$  – расстояние между точками по оси  $OY$ , вдоль которых измеряется разность фаз  $\varphi_{kj}$ .

На рис. 1 показано ФРИП в выходной апертуре адаптивного двулучевого интерферометра, полученное экспериментально после оптимальной настройки ИП интерферометра.

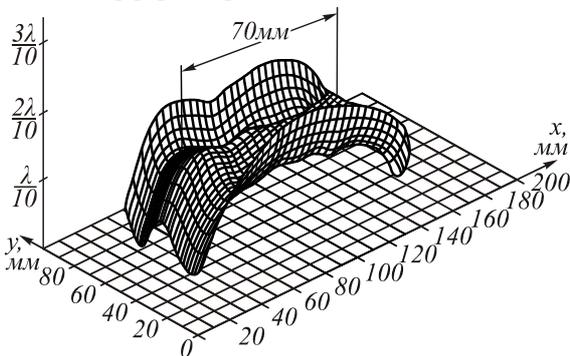


Рис. 1. Фазовое распределение интерференционных полос поля двухлучевого адаптивного интерферометра при оптимальной настройке. Фазовая карта показывает, что отклонение от идеального линейного распределения полос на центральном участке длиной 70 мм не превышает  $\pm 0,02\lambda$ .

Участок ИП с наиболее равномерным распределением полос выбираем по карте ФРИП. Это участок вдоль оси  $OX$  (в одном из конкретных случаев) длиной  $\sim 70$  мм и неравномерностью полос менее  $\pm 0,02\lambda$ . Этот участок и будет использоваться в дальнейшем при синтезе решётки.

Рассмотрим процесс синтеза ЛГДР, который состоит из ряда последовательных операций.

1. Настройка двухмерного адаптивного интерферометра на определённую частоту решётки.

2. Изучение функции  $\psi(x, y)$  в выходной апертуре интерферометра. Выбор наиболее равномерного участка.

3. Запись ГДР из нефазированных участков:  $A, B, C, \dots$  (рис. 2) с суммарной длиной будущей фазированной решётки.

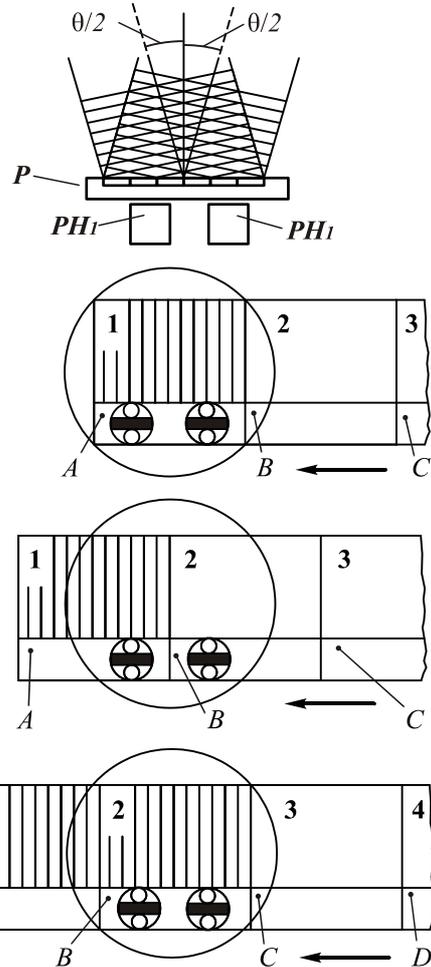


Рис. 2. Последовательность фаз синтеза метрологической голографической решётки.

$P$  – фотографическая пластинка;

$PH1$  и  $PH2$  – фотоголовки,  $A, B, C, D$  – участки вспомогательной ГДР; 1, 2, 3, 4 – фазированные участки синтезируемой (основной) ГДР

Операции 1-3 выполняются только один раз перед синтезом серии ЛГДР.

Фазирование фрагментов основной решётки при синтезе осуществляется по картине муаровых полос, которые образуются от взаимодействия вспомога-

тельных голографических решёток ( $A, B, C, \dots$ ) с ИП. Разность фаз муаровых полос определяется двумя системами фотоприёмников  $PH_1$  и  $PH_2$ , расположенными за вспомогательными решётками, как видно из рис. 2, где показано последовательное перемещение ЛГДР в процессе синтеза.

Рассмотрим последовательность шагов синтеза ЛГДР.

1. Экспонируется первый участок основной решётки и запоминается фаза муаровых полос  $\varphi_1$  на первой фотоголовке  $PH_1$ . Затем обе решётки сдвигаются влево на половину длины участка  $A$  вспомогательной решётки.

2. Фаза муаровых полос  $\varphi_1$  восстанавливается на фотоголовке  $PH_1$  смещением ИП в пределах одного периода (в нашем случае 1 мкм) подачей напряжения на пьезокерамическую ячейку (ПЯ). ПЯ смещает волновой фронт в одном плече двулучевого интерферометра, что приводит к смещению ИП в выходной апертуре интерферометра [11]. Полученная после смещения ИП фаза  $\varphi_2$  на фотоголовке  $PH_2$  запоминается.

3. Решётки вновь сдвигаются на полшага участка  $B$ , и на фотоголовке  $PH_2$  восстанавливается фаза  $\varphi_2$  муаровых полос смещением полос поля подбором соответствующего напряжения на ПЯ. После восстановления фазы  $\varphi_2$  на  $PH_2$  происходит экспозиция участка 2 основной решётки.

4. После экспозиции второго участка процесс последовательных запоминаний значений фаз  $\varphi_n$  на фотоголовках и их восстановлений после пошаговых смещений повторяется, пока не будет синтезирована вся основная ЛГДР.

Именно процесс запоминания и восстановления фаз на фотоголовках позволяет фазировать участки 1-2, 2-3, 3-4, и т.д. по вспомогательным решёткам, с помощью которых и определяется фазовый сдвиг между участками  $A-B$ ,  $B-C$ ,  $C-D$  и т.д. вспомогательных решёток  $\Delta\varphi_{AB} = \varphi_2 - \varphi_1$ ,  $\Delta\varphi_{BC}$ ,  $\Delta\varphi_{CD}$  и т.д. При идеальном ИП, совершенном и идеально жёстком интерферометре описанный выше процесс позволяет синтезировать ЛГДР неограниченной апертуры с точностью до фазирования отдельных участков решётки при синтезе  $\Delta$  ( $\Delta\varphi$ ).

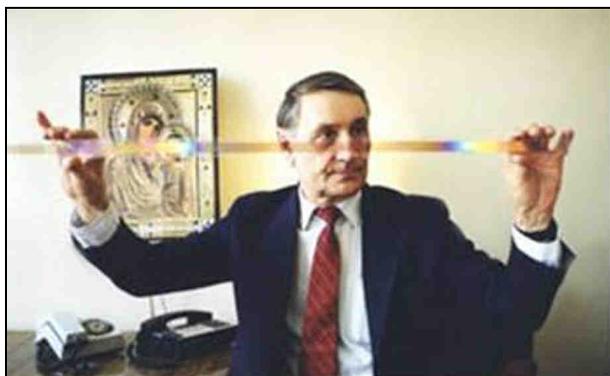


Рис. 3. Фотография линейной голографической решётки ЛГДР ( $L = 1200$  мм) с частотой 1000 лин/мм

В случае реального интерферометра с подвижными частями при их перемещении происходит изменение частоты ИП, т.к. меняется угол  $\theta$  между осями плеч интерферометра  $\Delta\theta$ , происходит наклон решёток в двух плоскостях при их пошаговом перемещении на углы  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$ . В работе [11] показано, как величины  $\Delta\theta$ ,  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$  переводятся в сигналы рассогласований, которые в виде обратных связей подаются на исполнительные механизмы и автоматически обрабатываются.

На рис. 3 даётся фотография с ЛГДР длиной 1200 мм и частотой  $\nu_0 = 1000$  мм<sup>-1</sup>.

Погрешности синтеза ЛГДР ( $\Delta S$ ) определяются следующими величинами:

- фазовыми рассогласованиями при фазировании отдельных участков  $\Delta\varphi$ ;
- коррекцией пространственной частоты ИП –  $\Delta\theta$ ;
- коррекцией поворотов решётки при пошаговом смещении на углы  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$ ;
- отклонением ФРИП от идеально равномерного  $\Delta\psi(x, y)$ :

$$\Delta S(x, y) = \sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i + K \sum_{i=1}^n (\Delta\alpha_{i,x} + \Delta\beta_{i,x} + \Delta\theta_{i,x}) + \Delta\psi(x, y), \quad (3)$$

где  $K$  – волновой вектор ЛГДР.

Для определения ошибок ЛГДР несколько метровых решёток было исследовано во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и определена ошибка в виде

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

где  $L$  – длина решётки в метрах.

Отметим, что первый член выражения (4) определяет случайную ошибку, в основном зависящую от величины  $\Delta\psi(x)$ . Сравним отклонение от равномерности выбранного участка ИП:  $\pm 0,02\lambda$  с первым членом выражения [4]:  $\pm 0,02$  мкм. Второй член  $\pm 0,4L$  вызван систематическими ошибками процесса синтеза и может быть уменьшен совершенствованием процесса синтеза или учтён при использовании ЛГДР в процессе измерений.

## 2. Синтез апертуры радиального интерференционного поля

При создании линейного ИП для синтеза ЛГДР использовались плоские волны, т.к. их сравнительно легко создавать и контролировать. Кроме плоских волн, наименьшими aberrациями обладают сферические волны, образованные точечными источниками. Оказалось, что именно интерференция двух сферических волн позволяет получить участок ИП с интерференционными линиями, исходящими приблизительно из единого центра. На рис. 4 показано сечение интерференционной картины двух сферических волн от двух точечных источников  $S_1$  и  $S_2$ .

В выделенном сегменте интерференционные полосы имеют квазирadiaльное распределение. В ра-

боте [12] исследуются условия оптимального выбора такого сегмента в поле сферических волн для последовательного синтеза радиальной апертуры ИП в виде РГДР.

При синтезе РГДР, как и при синтезе линейной решётки – ЛГДР, используется вспомогательная решётка. В нашем случае была выбрана фазированная радиальная решётка от серийного углового датчика с 32400 линиями. Заметим, что только центральная интерференционная полоса является прямой линией (рис. 4), проходящей через центр «0», определяемый идеальным радиальным сегментом, а интерференционные полосы вправо и влево от центра «0» имеют разную кривизну.

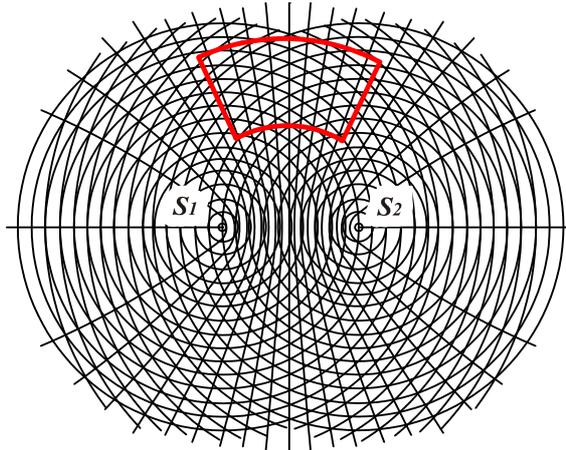


Рис. 4. Сечение картины интерференции двух сферических волн от двух точечных источников  $S_1$  и  $S_2$

Для компенсации этого эффекта было использовано два приёма:

– была использована динамическая запись выбранного сегмента на стеклянный диск со светочувствительным слоем;

– использовался стробоскопический метод записи, т.е. экспозиция выбранного сегмента осуществлялась каждый раз при повороте диска на шаг вспомогательной решётки. Полная экспозиция осуществлялась за несколько оборотов диска, что определялось светочувствительностью диска и мощностью лазера.

Описанные приёмы приводили к усреднению ошибок выбранного сегмента, а также к усреднению ошибки равномерности вращения шпинделя, на котором устанавливаются вспомогательная радиальная решётка и записываемый диск.

Многочисленным удвоением частоты интерференционных полос выбранного сегмента была синтезирована радиальная решётка с рекордным числом полос 518400. На рис. 5 приведена фотография такой решётки со средним диаметром дорожки  $\varnothing=180$  мм.

Исследования показали, что угловая точность записи радиальных штрихов составила  $\pm 0,2$  угл.с, а после устранения систематических ошибок получена рекордная точность углового датчика на базе такой решётки  $\pm 0,05$  угл.с. Во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева на основе такой РГДР создан динамический эталон угла.

## Выводы

Впервые удалось синтезировать апертуру линейного и радиального ИП в оптическом диапазоне. Это привело к синтезу ЛГДР и РГДР с рекордными равномерностью нанесения и количеством штрихов.

На основе этих голографических решёток создан ряд разновидностей наноизмерительных линейных и угловых приборов с разрешением 0,01 мкм и 0,01 угл.с.



Рис. 5. Фотография радиального голографического диска со средним диаметром штриховой дорожки:  $\varnothing=180$  мм и числом штрихов  $N=518400$

Эти приборы используются как в России, так и за рубежом: Украина, США, Англия, Япония, Китай и т.д.

Отметим, что методы синтеза линейных и радиальных голографических решёток, методы их копирования, аттестации и создание приборов на их базе защищены десятками патентов в ведущих промышленных странах [5-7, 13].

Однако авторам представляется, что потенциал синтеза таких полей не исчерпан, а находится лишь в начале пути. К примеру, если линейную голографическую структуру промодулировать френелевской зонной структурой, можно получить фокусирующую структуру неограниченного размера, которую можно применить на телескопе типа «Хаббл».

РГДР уже применяются для высокочастотной модуляции оптических пучков.

## Литература

1. **Турухано, Б.Г.** Голографические аспекты памяти / Б.Г. Турухано // Материалы X Всесоюзной школы по голографии. – 1979. – С. 56-59.
2. **Leith, E.N.** Reconstruction wave fronts and communication theory / E.N. Leith, J. Upatnieks // J. Opt. Soc. Amer. – 1962. – N 1123. – P. 52.
3. **Кондратенков, Г.С.** Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли / Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
4. **Волосюк, В.К.** Модифицированный метод синтеза апертуры антенны / В.К. Волосюк, В.Ф. Кравченко, А.В. Ксендзук, В.И. Пустовойт // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 396, № 5. – С. 611-614.

5. **Турухано, Б.Г.** Измерительный датчик касания на дифракционных решётках / Б.Г. Турухано, Н. Турухано, В.В. Добырн // Патент РФ № 2276772 по заявке № 2004128414 от 16 сентября 2004 г., зарегистрировано в государственном реестре изобретений 20 мая 2006 г.
6. **Турухано, Б.Г.** Устройство для измерения отклонения от плоскостности поверхности / Б.Г. Турухано, Н. Турухано, В.В. Добырн // Патент РФ № 2287776 по заявке № 2004135396 от 24 ноября 2004 г., зарегистрировано в государственном реестре РФ 20 ноября 2006 г.
7. **Турухано, Б.Г.** Координатно-измерительная машина / Б.Г. Турухано, Н. Турухано, В.В. Добырн, В.Е. Кормин // Патент РФ № 2307321 по заявке № 2005130473 от 22 сентября 2005 г., зарегистрировано в государственном реестре 27 сентября 2007 г.
8. **Турухано, Б.Г.** Голографическая дифракционная решётка / Б.Г. Турухано // Патент РФ № 1656483 по заявке № 3912400 от 05 июля 1985 г., зарегистрировано в государственном реестре РФ СССР 09 июля 1993 г.
9. **Turukhano, B.G.** Investigation of interference field phase distribution with moving holographic diffraction grating / B.G. Turukhano, S.V. Gordeev, V.P. Gorelik, N. Turukhano // Opt. Commun. – 1982. – N 43. – P. 85-88.
10. **Turukhano, B.G.** Phase measurement in an interference fringes pattern by two-frequency sinusoidal phase modulation / B.G. Turukhano, V.P. Gorelik, S.N. Kovalenko // Opt. Commun. – 1988. – N 69. – P. 98-100.
11. **Турухано, Б.Г.** Устройство для фазированного соединения голографических дифракционных решёток / Б.Г. Турухано, В.П. Горелик, С.Н. Николаев, Н. Турухано // Патент РФ № 673018 по заявке № 2497824 от 06 июня 1977 г., зарегистрировано в государственном реестре РФ СССР 15 марта 1979 г.
12. **Turukhano, B.G.** Investigation of the interference field of two spherical waves for holographic recording of precision radial diffraction gratings / B.G. Turukhano, S.V. Gordeev // Opt Laser Technol. – 1996. – V. 28, N 4. – P. 255-261.
13. **Турухано, Б.Г.** Датчик линейных перемещений / Б.Г. Турухано, Н. Турухано // Патент РФ № 2197713 по заявке № 2000121531 от 07 августа 2000 г., зарегистрировано в государственном реестре изобретений 27 января 2003 г.
3. **Kondratenkov, G.S.** Radiovision. Radar-tracking systems of remote sounding of the Earth / G.S. Kondratenkov, A.Ju. Frolov – Moscow: “Radiotekhnika” Publisher, 2005. – 368 p. – (in Russian).
4. **Volosyuk, V.K.** The modified method of synthesizing of the aperture of the antenna / V.K. Volosyuk, V.F. Kravchenko, A.V. Ksendzuk, V.I. Pustovojt // Reports of Academy of sciences. – 2004. – V. 396, N 5. – P. 611-614. – (in Russian).
5. **Turukhano, B.G.** Measuring gauge of a contact on diffraction gratings / B.G. Turukhano, N. Turukhano, V.V. Dobyrn // Patent of the Russian Federation, №2276772, Appl. № 2004128414 from 16.09.2004, filed 20.05.2006. – (in Russian).
6. **Turukhano, B.G.** Device for measurement of a deviation from plainness of a surface / B.G. Turukhano, N. Turukhano, V.V. Dobyrn // Patent of the Russian Federation №2287776, Appl. № 2004135396 from 24.10.2004, filed 20.10.2006. – (in Russian).
7. **Turukhano, B.G.** Coordinate measuring machine / B.G. Turukhano, N. Turukhano, V.V. Dobyrn, V.E. Kormin // Patent of the Russian Federation № 2307321, Appl. № 2005130473 from 22.09.2005, filed 27.09.2007. – (in Russian).
8. **Turukhano, B.G.** Holographic diffraction grating / B.G. Turukhano // Patent of the Russian Federation № 1656483, Appl. № 3912400 from 05.07.1985, filed 09.07.1993. – (in Russian).
9. **Turukhano, B.G.** Investigation of interference field phase distribution with moving holographic diffraction grating / B.G. Turukhano, S.V. Gordeev, V.P. Gorelik, N. Turukhano // Opt. Commun. – 1982. – N 43. – P. 85-88.
10. **Turukhano, B.G.** Phase measurement in an interference fringes pattern by two-frequency sinusoidal phase modulation / B.G. Turukhano, V.P. Gorelik, S.N. Kovalenko // Opt. Commun. – 1988. – N 69. – P. 98-100.
11. **Turukhano, B.G.** The device for the phased connection holographic diffraction gratings / V.P. Gorelik, S.N. Nikolaev, B.G. Turukhano, N. Turukhano // Patent of the Russian Federation № 673018, Appl. № 2497824 from 06.06.1977, filed 15.03.1979. – (in Russian).
12. **Turukhano, B.G.** Investigation of the interference field of two spherical waves for holographic recording of precision radial diffraction gratings / B.G. Turukhano, S.V. Gordeev // Opt Laser Technol. – 1996. – V. 28, N 4. – P. 255-261.
13. **Turukhano, B.G.** Encoder of linear displacements / B.G. Turukhano, N. Turukhano // Patent of the Russian Federation № 2197713, Appl. № 2000121531 from 07.08.2000, filed 27.01.2003. – (in Russian).

### References

1. **Turukhano, B.G.** Holographic aspects of memory / B.G. Turukhano, // Materials of X All-Union school on holography. – 1979. – P. 56-59. – (in Russian).
2. **Leith, E.N.** Reconstruction wave fronts and communication theory / E.N. Leith, J. Upatnieks // J. Opt. Soc. Amer. – 1962 – N 1123. – P. 52.

## SYNTHESIS OF THE APERTURE INTERFERENCE FIELD

*B.G. Turukhano, N. Turukhano, E.A. Vilkov*

*Petersburg Nuclear Physics Institute name of B.P. Konstantinov of the Russian Academy of Science*

### Abstract

Synthesis of the aperture interference field in the optical range is described, allowing to write down of unlimited length precision linear and radial holographic diffraction gratings. The method of phase modulation developed by authors has allowed increasing accuracy of phase measurements at synthesis diffraction gratings due to what now are created linear and the angular measuring systems possessing nanoresolution.

**Key words:** synthesis aperture, interference field, linear and radial holographic diffraction gratings, nanometrology, nanomeasurement systems.

## Сведения об авторах



**Турухано Борис Ганьевич**, 1937 года рождения. В 1961 году с отличием окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И.Калинина (ЛПИ), ныне Петербургский технический университет (ПТУ), по специальности «Экспериментальная ядерная физика». Доктор физико-математических наук (1989 год). Заслуженный изобретатель РФ, работает Заведующим лабораторией информационно-измерительных систем Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН (ПИЯФ РАН). Член редколлегии иностранного научного журнала «J. Optics and Laser Technologies». Б.Г. Турухано – специалист в области голографии, дифракционной оптики, наноизмерительных систем линейных и угловых перемещений. В списке научных работ Б.Г. Турухано 80 статей, 52 патента РФ, США, Японии, Франции, Англии, Канады, Швейцарии, Германии и других

стран.

Страница в интернете: <http://www.nanomsys.ru/>.

E-mail: [turuhana@pnpi.spb.ru](mailto:turuhana@pnpi.spb.ru).

**Boris Ganyevich Turukhano**, 1937 of a birth. In 1961 graduated with honour from the Leningrad Polytechnic Institute name of M.I. Kalinin (LPI), nowadays the Petersburg Technical University on a specialty “Experimental nuclear physics”. The doctor of physical and mathematical sciences (1989years), the Deserved inventor of the Russian Federation, Head of Laboratory of Information-Measuring Systems of the Petersburg of Nuclear Physics Institute name of B.P. Konstantinov of the Russian Academy of Science (PNPI of the Russian Academy of Science). Is in Advisory Editorial Board of foreign scientific Journal “Optics and Laser Technologies”. B.G. Turukhano is an expert in the field of holography, diffraction optics, nanomeasuring systems of linear and angular displacements. In the list of scientific works of B.G. Turukhano of 80 articles, 53 patents of the Russian Federation, the USA, Japan, France, England, Canada, Switzerland, Germany and other c.



**Турухано Никулина**, 1937 года рождения. В 1961 году с отличием окончила Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина (ЛПИ), ныне Петербургский технический университет (ПТУ) по специальности «Экспериментальная ядерная физика». Кандидат физико-математических наук (1976 год), Заслуженный изобретатель РФ, работает ведущим научным сотрудником лаборатории информационно-измерительных систем Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН (ПИЯФ РАН). Турухано Н. – специалист в области голографии, дифракционной оптики, наноизмерительных систем линейных и угловых перемещений. В списке научных работ Н. Турухано 30 статей, 24 патента РФ, США, Японии, Франции, Англии, Канады, Швейцарии, Германии и др. стран.

Страница в интернете: <http://www.nmsys.ru/>.

E-mail: [Turukhano@pnpi.spb.ru](mailto:Turukhano@pnpi.spb.ru).

**Nikulina Turukhano**, 1937 of a birth. In 1961 graduated with honour from the Leningrad Polytechnic Institute name of M.I. Kalinin (LPI), nowadays the Petersburg Technical University on a specialty “Experimental nuclear physics”. The candidate of physical and mathematical sciences (1976год), the Deserved inventor of the Russian Federation, works as the leadings scientific researcher of Laboratory of Information-Measuring Systems of the Petersburg of Nuclear Physics Institute name of B.P. Konstantinov of the Russian Academy of Science (PNPI RAS). N. Turukhano is an expert in the field of holography, diffraction optics, and nanomeasuring systems of linear and angular displacements. In the list of scientific works of N. Turukhano of 30 articles, 23 patents of the Russian Federation, the USA, Japan, France, England, Canada, Switzerland, Germany and other c.



**Вилков Евгений Александрович**, 1985 года рождения. В 2007 году с отличием окончил Ферганский Политехнический Институт по специальности «Приборостроение». С 2008 года работает инженером-электронщиком в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН (ПИЯФ РАН). Специалист в области наноизмерительных систем линейных и угловых перемещений.

E-mail: [diviso123@yandex.ru](mailto:diviso123@yandex.ru).

**Evgeny Alexandrovich Vilkov**, 1985 of a birth. In 2003 graduated with honour from the Fergana Polytechnic Institute. From 2008 year working in laboratory of information-measuring systems of the Petersburg of Nuclear Physics Institute name of B.P. Konstantinov of the Russian Academy of Science (PNPI RAS). E.A. Vilkov is an expert of nanomeasuring systems of linear and angular displacements.

Поступила в редакцию 17 января 2011 г.