

# **Круговые и маятниковые делительные машины – универсальное средство изготовления с нанометрической точностью штриховых структур различного назначения для современного оптико-электронного приборостроения и оптической технологии**

*А. Н. Мельников*

Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия

В докладе рассматриваются актуальные задачи оптико-электронного приборостроения и оптической технологии, которые решаются оптимальным образом на основе использования штриховых структур, синтезируемых при помощи круговых и маятниковых делительных машин.

*Ключевые слова:* Круговая делительная машина, Маятниковая делительная машина, Штриховая структура, Технология изготовления, Нанометрическая точность, Область применения.

*Цитирование:* Мельников, А. Н. Круговые и маятниковые делительные машины – универсальное средство изготовления с нанометрической точностью штриховых структур различного назначения для современного оптико-электронного приборостроения и оптической технологии / А. Н. Мельников // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 341–346.

В АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики» (АО «НПО ГИПО») разработан и применяется ряд круговых делительных машин моделей МДА и МДГ-500, предназначенных для изготовления осевых штриховых структур – осевых синтезированных голограммных оптических элементов (ОСГОЭ), выполняющих функции оптических компенсаторов, оптических образцов, «силовых» оптических элементов, в частности, объективов, имитаторов аберраций, оптических элементов для систем концентрации излучения и других элементов [1–4].

Также в АО «НПО ГИПО» в рамках технологии изготовления нарезных штриховых структур выполняются исследования и разработки по направлению создания маятниковых делительных машин [5–15].

В таблице представлен ряд актуальных задач оптико-электронного приборостроения и оптической технологии, которые решаются оптимальным образом на основе использования штриховых структур, синтезируемых при помощи круговых и маятниковых делительных машин.

**Таблица 1.** Сравнение технологических возможностей круговых и маятниковых делительных машин

| № п/п | Решаемая задача  | Круговые делительные машины                                     | Ссылка | Маятниковые делительные машины  | Ссылка  |
|-------|--|---|--------|---|---------|
| 1.    | Контроль формы асферических поверхностей с осевой симметрией, в том числе с большими крутизной и градиентом асферичности, крупноформатных оптических телескопов наземного и космического базирования | Изготовление ОСГОЭ-оптических компенсаторов диаметром до 600 мм | [1, 2] | Изготовление цилиндрических осевых синтезированных голограммных оптических элементов (ЦОСГОЭ) длиной до нескольких метров в целях получения интерферограммы узкой зоны в заданном диаметральном сечении контролируемой поверхности или её нескольких диаметральных сечениях с последующей «сшивкой» результатов расшифровки полученных интерферограмм | [15–17] |
| 2.    | Формообразование светосильных цилиндрических, сферических и тороидальных дифракционных решеток (ДР) спектроскопического применения   | Возможности отсутствуют   |        | Получение цилиндрических, сферических и тороидальных ДР на неплоских подложках с большой стрелкой прогиба (более 5 мм)  | [9–12]  |

| № п/п | Решаемая задача  | Круговые делительные машины   | Ссылка     | Маятниковые делительные машины  | Ссылка |
|-------|--|---|------------|---|--------|
| 3.    | Контроль юстировки взаимного расположения оптических элементов в составе центрированной оптической системы, в частности, двухзеркального телескопа, как в наземных, так и космических условиях | Нанесение юстировочных ОСГОЭ непосредственно на поверхности вторичного зеркала (ВЗ) диаметром до 600 мм: в пределах всей световой апертуры ВЗ, в виде кольцевых голограмм в краевой зоне ВЗ или в виде системы сегментов – частей кольцевых юстировочных ОСГОЭ; причем эти ОСГОЭ могут быть сформированы на поверхности ВЗ, имеющего небольшие крутизну и градиент асферичности | [2, 18–21] | Нанесение юстировочных ОСГОЭ в виде системы сегментов – частей кольцевых юстировочных ОСГОЭ непосредственно на поверхности ВЗ практически без ограничения на его диаметр; причем эти ОСГОЭ могут быть сформированы на поверхности ВЗ, имеющего большие крутизну и градиент асферичности |        |
| 4.    | Изготовление безабберационных объективов для работы на лазерной длине волны, в частности, для визуализации газовых потоков больших сечений   | Изготовление ОСГОЭ-объективов диаметром до 600 мм   | [2, 3]     | Изготовление ЦОСГОЭ-матриц на вогнутых подложках цилиндрической формы для получения путем развертывания тонких плоских ЦОСГОЭ-реплик*, реализующих функцию объектива, размерами до 1000×1000 мм**   |        |
| 5.    | Формообразование тонких плоских (компактных и облегченных) концентраторов солнечного излучения для развития систем фотовольтаики наземного и космического применения                           | Изготовление ОСГОЭ-матриц диаметром до 600 мм для формообразования тонких плоских концентраторов солнечного излучения в виде реплик с круговой симметрией   | [4]        | Изготовление ЦОСГОЭ-матриц на вогнутых подложках цилиндрической формы для получения путем развертывания тонких плоских ЦОСГОЭ-реплик* с функцией концентраторов солнечного излучения с линейной симметрией размерами до 1000×1000 мм и более**  | [13]   |

| № п/п   | Решаемая задача  | Круговые делительные машины | Ссылка | Маятниковые делительные машины   | Ссылка |
|---|--|-----------------------------|--------|--|--------|
| 6.  | Компрессия-декомпрессия мощных лазерных импульсов на основе использования ДР | Возможности отсутствуют     |        | Изготовление ДР-матриц на вогнутых подложках цилиндрической формы для формирования путем развертывания относительно дешевых «одноразовых» крупноформатных ДР-реплик в виде тонких полимерных пленок* размерами до 1000×1000 мм** | [13]   |
| <p>Примечания:</p> <p>1. *За счет использования методов прецизионного реплицирования или тиснения [4, 22, 23].</p> <p>2. **Предельные размеры будут определяться фактическим износом специального алмазного резца при нарезке матрицы в зависимости от заданной частотной характеристики штриховой структуры в пределах её расчетной заштрихованной площади и твердости материала, в котором формируются штрихи, а также требованиями к обеспечению расчетного предельного значения погрешности периода этой структуры.</p> |  |                             |        |  |        |

Как следует из приведенной таблицы, на основе использования достоинств как круговых, так и маятниковых делительных машин, возможно значительно расширить круг решаемых задач в интересах отечественного оптико-электронного приборостроения и оптической технологии. В настоящее время разрабатываются технические предложения по модернизации имеющихся и созданию новых образцов круговой и маятниковой делительной техники.

### Список источников

- [1] Лукин, А. В. Голограммные оптические элементы / А. В. Лукин // Оптический журнал. — 2007. — Том 74. — № 1. — С. 80 – 87.
- [2] Белозёров, А. Ф. Осевые синтезированные голограммные оптические элементы: история развития, применения. Ч. 1 / А. Ф. Белозёров, Н. П. Ларионов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Фотоника. — 2014. — № 4 (46). — С. 12–32.
- [3] Белозёров, А. Ф. Осевые синтезированные голограммные оптические элементы: история развития, применения. Ч. 2 / А. Ф. Белозёров, Н. П. Ларионов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Фотоника. — 2014. — № 5 (47). — С. 30–41.
- [4] ГОСТ Р 59737–2021 Оптика и фотоника. Элементы оптические голограммные синтезированные осевые. Общие технические условия. — М.: Российский институт стандартизации, 2021. — 40 с.
- [5] Патент на изобретение № 2130374 РФ. Делительная машина для изготовления периодических штриховых структур, преимущественно дифракционных решеток (варианты) / А. В. Лукин, А. Н. Мельников. — Заяв. 26.05.1998. — Оpubл. 20.05.1999.

- [6] **Бородин, В. М.** Исследование динамики резцовой каретки делительной машины маятникового типа / В. М. Бородин, А. И. Карпов, В. А. Кренев, А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. — 2003. — № 3. — С. 11–16.
- [7] **Мельников, А. Н.** Делительная машина маятникового типа для механического формообразования периодических штриховых структур / А. Н. Мельников. Автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.03.01 / Казан. гос. техн. ун-т им. А.Н. Туполева. — Казань, 2005. — 15 с.
- [8] **Лукин, А. В.** Делительная машина маятникового типа для изготовления нарезных периодических рельефно-фазовых структур / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, С. О. Мирумянц // Оптический журнал. — 2007. — Том 74. — № 1. — С. 44–49.
- [9] **Мельников, А. Н.** Технологии формообразования светосильных дифракционных оптических элементов на основе использования делительной техники маятникового типа / А. Н. Мельников // Фотоника. — 2019. — Том 13. — № 5. — С. 468–475. — DOI:10.22184/1993-7296.FRos.2019.13.5.468.475
- [10] **Бажанов, Ю. В.** Новые возможности получения неклассических нарезных дифракционных решеток большой апертуры / Ю. В. Бажанов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Оптический журнал. — 2021. — Том 88. — № 9. — С. 44–51. — DOI:10.17586/1023-5086-2021-88-09-44-51
- [11] **Мельников, А. Н.** Новый подход в задаче формообразования тороидальных дифракционных решёток / А. Н. Мельников // XI Международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сб. научн. трудов. — М.: НИЯУ МИФИ, 2022. — С. 181–182.
- [12] **Мельников, А. Н.** Новые принципы формирования штриховых структур светосильных неклассических нарезных тороидальных дифракционных решёток с применением делительных машин маятникового типа / А. Н. Мельников // Оптический журнал. — 2022. — Том 89. — № 10. — С. 95–105. — DOI: 10.17586/1023-5086-2022-89-10-95-105
- [13] **Мельников, А. Н.** Делительные машины маятникового типа — новые перспективные средства прецизионного формирования с наноразмерной точностью периодических штриховых структур на поверхностях с большой стрелкой прогиба / А. Н. Мельников // HOLOEXPO 2022: XIX международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (Санкт-Петербург, 20–22 сентября): Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 154 – 156.
- [14] **Мельников, А. Н.** Усовершенствование машины для изготовления неклассических дифракционных решёток / А. Н. Мельников // XII Международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сб. научн. трудов. — М.: НИЯУ МИФИ, 2023. — С. 546–547.
- [15] **Мельников, А. Н.** Возможность применения цилиндрических осевых синтезированных голограмм для контроля формы крупногабаритных асферических поверхностей / А. Н. Мельников // Оптический журнал. — 2023. — Том 90. — № 9. — С. 45–54. — DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-09-45-54
- [16] **Патент на изобретение № 2786688 РФ.** Голографическое устройство для контроля формы асферических оптических поверхностей / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов. — Заяв. 01.02.2022. — Опубл. 23.12.2022.
- [17] **Лукин, А. В.** Новые возможности лазерно-голографического контроля процессов сборки и юстировки крупноформатных составных зеркал телескопов / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов // Оптический журнал. — 2022. — Том 89. — № 10. — С. 80–94. — DOI: 10.17586/1023-5086-2022-89-10-80-94

- [18] **Патент на изобретение № 2467286 РФ.** Устройство юстировки двухзеркальной центрированной оптической системы / В. А. Балоев, В. П. Иванов, Н. П. Ларионов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов, А. М. Ураскин, Ю. П. Чугунов. — Заяв. 06.06.2011. — Опубл. 20.11.2012.
- [19] **Балоев, В. А.** Прецизионный метод контроля юстировки двухзеркальных телескопов на основе использования системы кольцевых синтезированных голограмм / В. А. Балоев, В. П. Иванов, Н. П. Ларионов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов, А. М. Ураскин, Ю. П. Чугунов // Оптический журнал. — 2012. — Том 79. — № 3. — С. 56–64.
- [20] **Baloev, V. A.** Alignment control of twomirror telescopes using a system of annular computer-generated holograms / V. A. Baloev, V. P. Ivanov, N. P. Larionov, A. V. Lukin, A. N. Melnikov, A. F. Skochilov, A. M. Uraskin, Yu. P. Chugunov // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). — 2014. — Vol. 23. — No. 2. — P. 104–110. — DOI: 10.3103/S1060992X14020076
- [21] **Larionov, N. P.** Laser and holographic stand for the alignment control of Cassegrain and Ritchey-Chretien telescopic systems / N. P. Larionov, A. V. Lukin, A. N. Melnikov, A. M. Uraskin // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). — 2014. — Vol. 23. — No. 4. — P. 254–258. — DOI: 10.3103/S1060992X14040055
- [22] **Ахметов, М. М.** Научно-производственный комплекс серийной прецизионной репликации элементов асферической и дифракционной оптики / М. М. Ахметов, А. Ф. Белозёров, В. А. Балоев, А. А. Белокопытов, И. С. Гайнутдинов, В. П. Иванов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников, И. А. Могилюк // Контенант. — 2016. — Том 15. — № 3. — С. 39–42.
- [23] **Лукин, А. В.** Прецизионное реплицирование всех видов оптических поверхностей – научно-технологическая основа кардинальных преобразований в современном оптическом производстве / А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Оптический журнал. — 2022. — Том 89. — № 10. — С. 42–50. — DOI: 10.17586/1023-5086-2022-89-10-42-50.

## **Circular and pendulum-type ruling engines: a versatile, nanometric precision tool for manufacturing ruled structures of various purposes for modern optical-electrical instrument engineering and optical technology**

*A. N. Melnikov*

JSC «Scientific and Production Association «State Institute of Applied Optics», Kazan, Russia

This report examines the relevant issues of optical-electrical instrument engineering and optical technology, which are solved in an optimal way via using ruled structures synthesized by circular and pendulum-type ruling engines.

*Keywords:* Circular ruling engine, Pendulum-type ruling engine, Ruled structure, Manufacturing technology, Nanometric precision, Field of application.