

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОВОГО ШАБЛОНА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ ДИФРАКЦИОННОЙ ОПТИКИ

Завьялов П.С.¹, Чугуй Ю.В.^{1,2,3}

¹ Конструкторско-технологический институт научного приборостроения
Сибирского отделения Российской академии наук (КТИ НП СО РАН),

² Новосибирский государственный университет (НГУ),

³ Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)

Аннотация

На основе дифракционных оптических элементов (ДОЭ) разработан метод формирования световых 3D шаблонов крупногабаритных изделий типа антенн (от единиц до десятков метров) для их настройки и контроля. Суть метода заключается в создании в пространстве световых маркеров в виде сфокусированных лазерных пучков, фокусы и точки пересечения которых лежат на поверхности параболоида, описывающего форму антенны. Такой подход обеспечивает высокую точность задания маркеров (погрешность 0,02–0,2 мм на расстоянии 20–30 м). Дан расчёт основных параметров ДОЭ для антенны диаметром 25 м. Представлены экспериментальные результаты формирования световых шаблонов с использованием двух наборов ДОЭ, формирующих 19 и 288 световых точек. Показано, что при определённом выборе параметров оптической системы формирования световых шаблонов можно визуально обнаружить отклонение поверхности объекта на величину ± 1 мм. Предложенный метод может существенно облегчить выполнение трудоёмких операций сборки, настройки и контроля формы крупногабаритных антенн в цеховых условиях.

Ключевые слова: 3D оптический контроль, крупногабаритные объекты, дифракционный оптический элемент, световой шаблон, космические антенны.

Введение

Разработка методов бесконтактного контроля геометрических параметров ответственных крупногабаритных (от единиц до десятков метров) изделий является актуальной задачей для различных отраслей промышленности (авиационная, судостроительная, машиностроительная, космическая и др.). В настоящее время интенсивно используются и развиваются оптико-электронные методы контроля таких объектов, включая геодезические и фотограмметрические методы, методы на основе дальнометрии, лазерного сканирования и проецирования [1–4]. Наряду с контролем формы, часто во время производственных операций необходимо производить координатную привязку и разметку крупногабаритных изделий для точной сборки, крепления, обработки и т.д.

На практике часто применяют такие универсальные измерительные средства, как геодезические теодолиты и тахеометры, лазерные радары и трекеры. Они позволяют решать большинство контрольно-измерительных задач и обладают высокой точностью измерений (разрешение по углу на уровне 1–10 угл. с, по расстоянию – 0,01–0,1 мм). Однако при контроле сложных крупногабаритных объектов, предусматривающем выполнение большого объёма измерительных операций (до нескольких тысяч контрольных точек), использование таких средств связано с огромными временными затратами (до нескольких часов). Более того, такие операции отличаются большой трудоёмкостью (часто они требуют использования специальных отражателей на объектах) и не позволяют

получать информацию об объекте в режиме on-line, что крайне необходимо при различных манипуляциях с ним (настройка, сборка и т.д.).

Более пригодны для быстрого измерения крупногабаритных объектов лазерные сканеры, а также системы лазерного проецирования [5, 6]. Последние особенно удобны при сборке и настройке, так как путём развёртки лазерных лучей позволяют создавать пространственные образы объектов. Однако такие системы обладают меньшей точностью измерений (погрешность от 0,5 мм и выше).

Примером задачи, решить которую достаточно сложно применением описанных выше стандартных средств, является настройка и контроль формы трансформируемых антенн космических аппаратов типа «ГЛОНАС», «GPS», а также различных спутников связи (рис. 1). В настоящий момент в мире в этой области существует тенденция к увеличению диаметра запускаемых антенн (с 8–12 м до 24–100 м). Допустимое отклонение формы рефлектора антенны от заданной не должно превышать 0,5–2 мм.

Сборка рефлекторов небольшого диаметра (до 8 м) обычно производится на объёмном каркасном шаблоне, повторяющем требуемую форму. Однако с увеличением размеров антенн сложность и стоимость такого шаблона становится соизмеримой с самим рефлектором, а работа исполнителей среди элементов конструкции шаблона весьма затруднена.

Для настройки формы радиоотражающей поверхности с указанной точностью в конструкции формообразующей структуры предусмотрены различные регулировки.

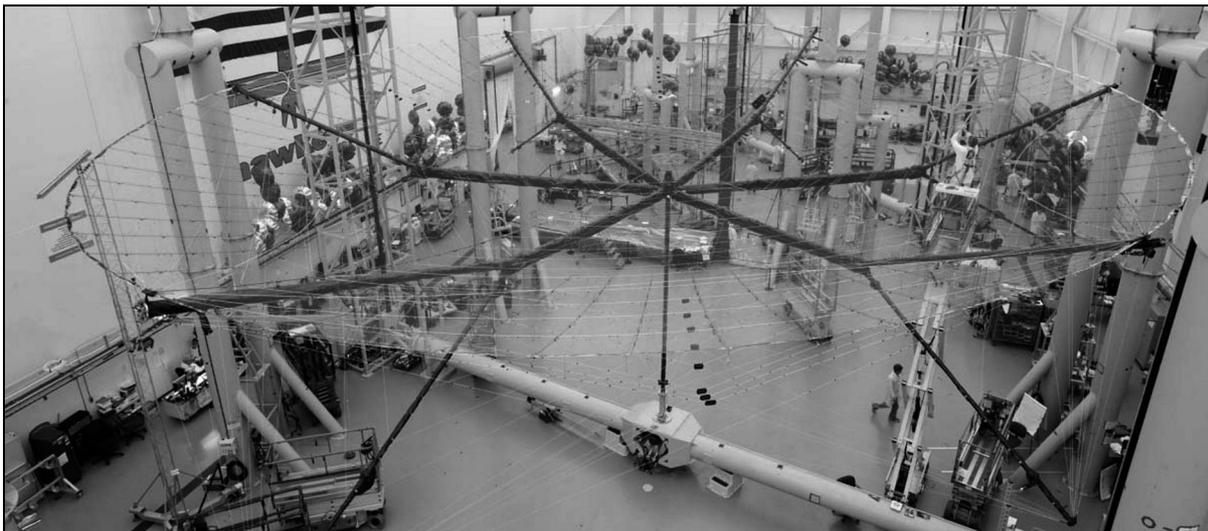


Рис. 1. Крупногабаритная трансформируемая антенна диаметром 18 м производства Harris Corporation (США)

Количество регулируемых узловых точек может составлять до нескольких тысяч, расстояние между ними $\sim 100\text{--}1000$ мм. Такая операция является очень ответственной и трудоёмкой и выполняется несколькими операторами одновременно в течение многих дней. Одним из вариантов облегчения процедур сборки и настройки таких объектов является создание трёхмерного лазерного шаблона, который с высокой точностью формирует в пространстве сборочного цеха контрольные и узловые точки антенны.

1. Формирование светового 3D шаблона с помощью дифракционных оптических элементов

Суть метода заключается в создании в пространстве сфокусированных лазерных пучков, фокусы и точки пересечения которых лежат на поверхности параболоида, описывающего форму антенны. Принцип формирования светового 3D шаблона представлен на рис. 2.

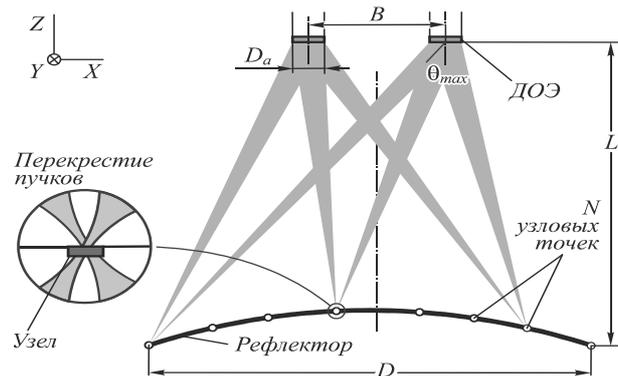


Рис. 2. Принцип формирования светового 3D шаблона

Узловые точки рефлектора подсвечиваются двумя или тремя дифракционными оптическими элементами, каждый из которых создаёт N сфокусированных световых пучков. В качестве источника света используется стабилизированный по длине волны лазер видимого диапазона. При расположении узловой точки в строго расчётной позиции световые пятна от всех ДОО сходятся в одну точку. При смещении узла от

заданного в XY -плоскости точка фокусировки будет либо смещена от центра узла (для удобства настройки на узлы можно нанести маркировку в виде перекрестий), либо вообще не попадать на него при значительных смещениях. При смещении узла в Z -направлении точка фокусировки при небольших смещениях будет увеличиваться в размерах, а при значительных – точки будут разделяться. При этом если использовать, например, три ДОО, расположенных в вершинах треугольника, пятна на узле будут иметь также вид треугольника, а расположение его вершины будет указывать настройщику знак смещения узловой точки по Z .

При реализации описанного метода требуется выдержать следующие габаритные параметры. Максимальный угол дифракции, реализуемый в современных дифракционных элементах, не превышает $20\text{--}30^\circ$ для видимого диапазона длин волн: $\sin(\theta_{\max}) = \lambda/\Delta_{\text{де}}$, где $\Delta_{\text{де}}$ – период дифракционной структуры, который на практике составляет не менее $1\text{--}2$ мкм. Поэтому расстояние L между ДОО и объектом должно быть больше диаметра объекта $L \geq D$. Расстояние B (база) между ДОО выбирается равным $B \approx L/10 \div L/5$. Чем больше это расстояние, тем выше чувствительность метода в Z -направлении. При расчётах мы исходили из того, что при смещении узловой точки от точки пересечения двух пучков на 1 мм увеличение размеров световых пятен должно составлять не менее $10\text{--}20\%$, что легко обнаружить при визуальном их наблюдении. Размер апертуры D_a дифракционного элемента при выбранных λ и L определяется диаметром сфокусированного на узле пятна d :

$$D_a = 2,44 \frac{\lambda L}{d}, \quad (1)$$

где λ – длина волны используемого лазера. Если выбрать $d \approx 1$ мм, $\lambda = 0,633$ мкм, а $L = 25$ м, то диаметр ДОО должен составлять не менее 35 мм. С помощью таких ДОО можно формировать световые шаблоны антенн с диаметром до 25 м.

Для предварительной настройки оптической системы формирования светового шаблона под текущее положение антенны она должна располагаться на платформе, имеющей необходимые подвижки. При невозможности разместить систему на большой высоте от антенны можно разбить её поверхность на несколько зон, каждую из которых освещать отдельной подсистемой из двух–трёх ДОЭ.

Главным преимуществом использования ДОЭ для формирования светового шаблона крупногабаритных объектов по сравнению с имеющимися на рынке системами лазерного проецирования и разметки [5–6] является потенциально более высокая точность. Современными возможностями дифракционной оптики позволяют создавать ДОЭ с ошибками волнового фронта на уровне $\lambda/10 \div \lambda/100$. На расстояниях 20–30 м такие отклонения волнового фронта приведут к смещению световых пятен от расчётного положения в пределах 0,02–0,2 мм.

2. Расчёт дифракционных оптических элементов

Для экспериментальных исследований предложенного метода были рассчитаны дифракционные оптические элементы, формирующие световой шаблон из N точек. Расчёт ДОЭ производился в скалярном приближении теории дифракции Кирхгофа–Френеля.

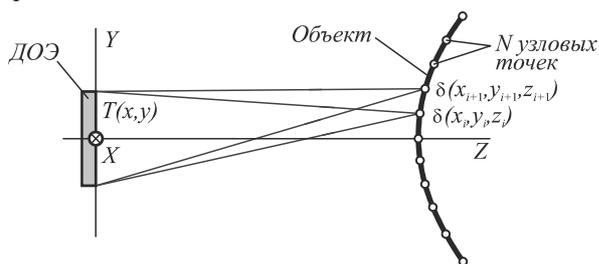


Рис. 3. Математическая модель формирования узловых точек ДОЭ

Если принять, что световое поле, формируемое дифракционным оптическим элементом, представляет собой набор ярких точек, описываемых δ -функциями (рис. 3), то комплексную функцию пропускания ДОЭ можно представить как суперпозицию N сферических волновых фронтов:

$$T(x, y) = \sum_{i=1}^N h(x, y, x_i, y_i, z_i), \tag{2}$$

где $T(x, y)$ – функция пропускания ДОЭ, $h(x, y, x_i, y_i, z_i)$ – импульсный отклик свободного пространства (сферическая волна):

$$h(x, y, x_i, y_i, z_i) = [j \cdot \text{л} \cdot r(x, y, x_i, y_i, z_i)]^{-1} \times \exp[j \cdot k \cdot r(x, y, x_i, y_i, z_i)], \tag{3}$$

где расстояние

$$r(x, y, x_i, y_i, z_i) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + z_i^2}. \tag{4}$$

Используя данную математическую модель в специально созданной программе в среде Borland C++

Builder, были рассчитаны функции пропускания ДОЭ, формирующих световой шаблон. Для удобства наблюдения световой шаблон формировался на плоскости. Всего было рассчитано два варианта дифракционных элементов, при этом для каждого варианта рассчитывалась пара ДОЭ. Второй ДОЭ формировал световой шаблон, инвертированный относительно оси Y . Характеристики разработанных ДОЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры	Вариант 1	Вариант 2
Размер ДОЭ D_a , мм	8	6
Дискретность ДОЭ, мкм	1	1
Общее количество маркеров N , шт.	19	288
Расстояние до экрана L , м	2,5	2,5
Диаметр шаблона D , м	1	1
Тип элемента	амплитудный	амплитудный
Длина волны λ , нм	633	532

При расчёте ДОЭ использовалась фазовая компонента функции $T(x, y)$ (2):

$$\phi(x, y) = \arg(T(x, y)). \tag{5}$$

Далее производилась бинаризация функции (5). Конечный результат расчёта оформлялся в виде изображения в файле формата «bmp». На рис. 4 слева приведено изображение микроструктуры ДОЭ, а справа – увеличенное изображение его фрагмента.

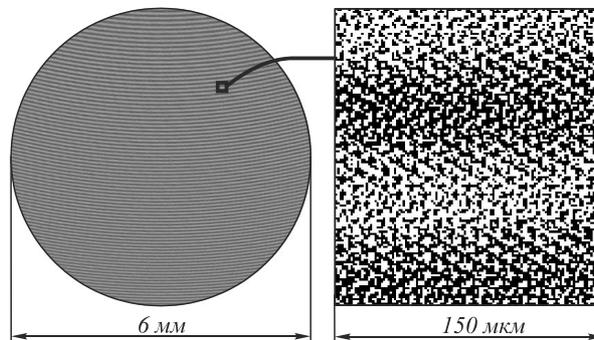


Рис. 4. Микроструктура ДОЭ

Расчитанные описанным выше способом четыре дифракционных элемента были изготовлены (в амплитудном исполнении) в КТИ ИП СО РАН на круговой лазерной записывающей системе CLWS-300С/М [7] с использованием технологии прямой лазерной записи на плёнках хрома.

3. Экспериментальные исследования

Они проводились на базе оптической системы, схема которой приведена на рис. 5а. В экспериментах нами использовались два типа когерентных источников света: He-Ne лазер ($\lambda = 628$ нм, мощность 1 мВт) и твердотельный лазер ($\lambda = 532$ нм, мощность 100 мВт). Кроме лазеров 1, система включала в себя коллиматор на базе микрообъектива 2 и коллимирующего объектива 3, светофильтр 4, светоделительный кубик

5, поворотное зеркало 6, два синтезированных ДОЭ (7 и 7'), отстоящих друг от друга на расстояние $B=0,25$ м, и плоский экран 8. ДОЭ устанавливались на юстировочных каретках.

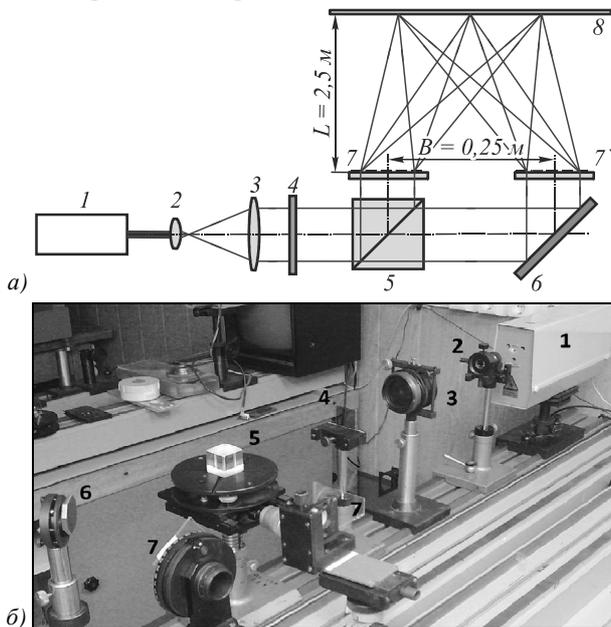


Рис. 5. Экспериментальный стенд: оптическая схема (а), фотография стенда (б): 1 – лазер, 2 – микрообъектив, 3 – объектив, 4 – светофильтр, 5 – светоделительный кубик, 6 – зеркало, 7 – ДОЭ, 8 – плоский экран

Для регулирования уровня яркости картины, наблюдаемой на экране, использовался набор светофильтров. Путём юстировки ДОЭ достигалось совмещение всех узловых точек на экране.

Эксперименты выполнялись на стенде (рис. 5б) с использованием двух типов указанных выше лазеров. Регистрировались распределения интенсивности света в области узловых точек. Фотографии формируемых световых шаблонов приведены на рис. 6.

На этих кадрах можно видеть лишь часть узловых точек. Однако при наблюдении снимков глазом, благодаря его большому динамическому диапазону, детально просматриваются все узловые точки. На картинах также присутствовали артефакты, связанные с бинарной амплитудной дифракционной структурой: яркие пятна в центре картин, соответствующие нулевым порядкам дифракции, а также размытые пятна большого диаметра, соответствующие «-1-м» порядкам дифракции. При использовании непрерывного (или многоступенчатого) фазового микрорельефа ДОЭ присутствие таких артефактов, как известно, может быть сведено к минимуму.

Регистрация распределения интенсивности света в области каустики скрещенных пучков осуществлялась камерой, которая смещалась по глубине. Зарегистрированные данные передавались в компьютер. Эксперименты проводились при двух базовых расстояниях B , равных 250 мм и 500 мм (углы скрещивания пучков $5,7^\circ$ и $11,3^\circ$ соответственно). Их результаты представлены на рис. 7.

Видно, что при $B = 250$ мм (рис. 7а) смещение Δz плоскости наблюдения на 1 мм по глубине приводит к увеличению размера пятна на 10–20%, что хорошо наблюдается глазом. В случае смещения Δz на 2 мм пятно принимает форму овала, а при больших смещениях оно начинает делиться на две части.

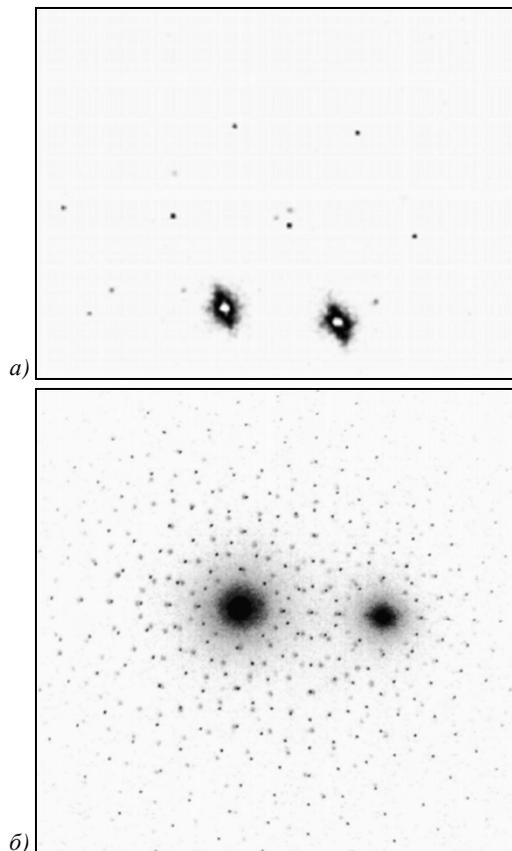


Рис. 6. Фотографии световых шаблонов (инвертированы), сформированных с помощью двух пар синтезированных ДОЭ, воспроизводящих 19 узловых точек (а) и 288 узловых точек (б)

При увеличении базового расстояния B в два раза те же изменения наблюдаются уже при меньших смещениях плоскости наблюдения (рис. 7б). В этом случае пятна начинают раздваиваться уже при смещении плоскости наблюдения на 1 мм.

Очевидно, что для достижения лучшей чувствительности к смещениям в Z -направлении более предпочтительно использование большего базового расстояния. Однако это связано с увеличением габаритов системы, что в итоге может привести к снижению точности формирования светового шаблона. Поэтому при выборе параметров системы необходимо соблюдать разумный компромисс.

Заключение

Нами проведена предварительная разработка метода формирования светового шаблона крупногабаритных объектов для их настройки и контроля формы на основе дифракционных элементов. Актуальность работы связана с задачей создания трансформируемых антенн космических аппаратов больших размеров (20–50 м).

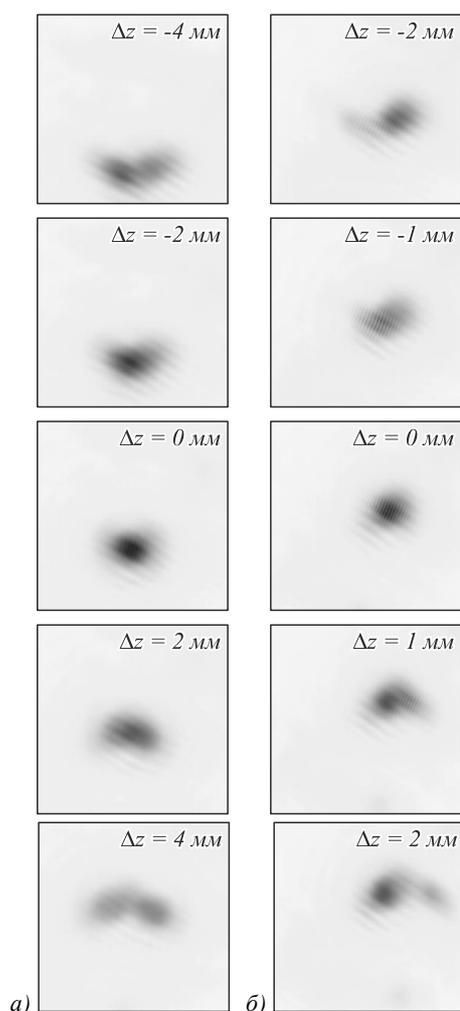


Рис. 7. Инвертированные картины расчётных распределений интенсивности света в зоне каустики скрещенных пучков при различных смещениях Δz плоскости наблюдения для двух случаев базовых расстояний V : 250 мм (а) и 500 мм (б)

Предложенный метод формирования светового шаблона в виде набора световых точек – маркеров с помощью ДОЭ позволит существенно облегчить трудоёмкие операции сборки, настройки и контроля формы крупногабаритных антенн, выполняемые в цеховых условиях.

Преимущество такого подхода – высокая точность задания маркеров (погрешность 0,02–0,2 мм на расстоянии 20–30 м), которая на практике, однако, скорее всего, будет ограничиваться неоднородностью показателя преломления воздуха в помещении (наличие температурного градиента). При разработке ДОЭ, формирующих световые шаблоны, можно использовать известные методы [8, 9] контроля и аттестации дифракционных элементов, которые применяются при контроле высокоточных зеркал оптических телескопов. Таким же образом можно прогнозировать точность формирования световых шаблонов.

Выполнены натурные эксперименты на основе рассчитанных и изготовленных с помощью круговой лазерной записывающей системы двух наборов ДОЭ,

формирующих 19 и 288 световых точек. В процессе эксперимента зарегистрированы каустики скрещенных лазерных пучков. Показано, что чувствительность метода при угле скрещивания пучков $5,7^\circ$ достаточна для регистрации отклонений поверхности объекта на величину ± 1 мм.

Выявлено, что при использовании твердотельного лазера с мощностью 100 мВт картина маркеров уверенно наблюдается на экране даже при дневном освещении. Естественное неудобство в этом случае доставляет наличие в световом шаблоне нулевого и «–1-го» порядков дифракции в виде расфокусированных пятен.

В перспективе планируются исследования, максимально приближённые к реальным условиям измерения (большее количество маркеров, большие габариты контролируемых объектов), что потребует решения задач настройки и калибровки разрабатываемой оптико-электронной системы. Для устранения влияния неинформативных дифракционных порядков нами предполагается разработка ДОЭ, работающих в расходящемся освещающем пучке, и их реализация в виде непрерывного фазового микрорельефа, что позволит существенно повысить дифракционную эффективность.

Литература

1. Pappa, R.S. Photogrammetry of a 5m Inflatable Space Antenna With Consumer Digital Cameras [Electronical Resource] / Richard S. Pappa, Louis R. Giersch, M. Jessica – www.photomodeler.com/applications/documents/NASA.pdf
2. Гришанов, В.Н. Современные лазерные измерительные системы в производственном цикле космической техники / В.Н. Гришанов, А.А. Ойнонен // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 1. – С. 24-35.
3. Однокурцев, К.А. Лабораторное техническое оснащение для автоматизированного управления элементами сборочной оснастки // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – Т. 59, № 12. – С. 41-47.
4. Saadat, M. Measurement Systems for Large Aerospace Components / M. Saadat, L. Cretin // Sensor Review. – 2007. – V. 22, N 3. – P. 199-206.
5. Dusharme, D. New Life for Laser Projection / Dirk Dusharme // Quality Digest. – 2008. – N 6. – P. 2-6.
6. Системы лазерного проецирования и разметки LPT [Электронный ресурс]: http://www.nevatec.ru/lpt/files/LPT_buklet.pdf
7. Gurenko, V.M. Laser writing system CLWS-300/C-M for microstructure synthesis an the axisymmetric 3-D surfaces. / V.M. Gurenko, L.B. Kastorsky, V.P. Kiryanov, A.V. Kiryanov, S.A. Kokarev, V.M. Vedernikov, A.G. Verkhoglyad // Proc. SPIE. – 2002. – V. 4900. – P. 320-325.
8. Насыров, Р.К. Методы сертификации дифракционных оптических элементов для контроля асферической оптики. / Р.К. Насыров, А.Г. Полещук, В.П. Корольков, К. Прусс, С. Райхельт // Автометрия. – 2005. – Т. 41, № 1. – С. 115-125.
9. Коронкевич, В.П. Точность изготовления дифракционных оптических элементов лазерными записывающими системами с круговым сканированием / В.П. Коронкевич, В.П. Корольков, А.Г. Полещук, А.А. Харисов, В.В. Черкашин // Компьютерная оптика. – 1997. – № 17. – С. 63-74.

References

1. **Pappa, R.S.** Photogrammetry of a 5m Inflatable Space Antenna With Consumer Digital Cameras [Электронный ресурс] / Richard S. Pappa, Louis R. Giersch, M. Jessica – www.photomodeler.com/applications/documents/NASA.pdf
2. **Grishanov, V.N.** Actual laser measuring systems in space technique production / V.N. Grishanov, A.A. Oynonen // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva (nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta). – 2012. – N 1. – P. 24-35. – (in Russian).
3. **Odnokurtsev, K.A.** Laboratory technical equipment for automatic control system by assembly tooling elements // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. – 2011. – V. 59. – N 12. – P. 41-47. – (in Russian).
4. **Saadat, M.** Measurement Systems for Large Aerospace Components / M. Saadat, L. Cretin // Sensor Review. – 2007. – V. 22, N 3. – P. 199-206.
5. **Dusharme, D.** New Life for Laser Projection / Dirk Dusharme // Quality Digest. – 2008. – N 6. – P. 2-6.
6. Systems for laser projection and LPT marking. Electronic resource: http://www.nevatec.ru/lpt/files/LPT_buklet.pdf
7. **Gurenko, V.M.** Laser writing system CLWS-300/C-M for microstructure synthesis on the axisymmetric 3-D surfaces. / V.M. Gurenko, L.B. Kastorsky, V.P. Kiryanov, A.V. Kiryanov, S.A. Kokarev, V.M. Vedernikov, A.G. Verkhoglyad // Proc. SPIE. – 2002. – V. 4900. – P. 320-325.
8. **Nasyrov, R.K.** Certification of diffractive optical elements for aspherical optics testing / R.K. Nasyrov, A.G. Poleshchuk, V.P. Korolkov, K. Pruss, S. Reichelt // Avtometriya. – 2005. – V. 41. – N 1. – P. 115-125. – (in Russian).
9. **Koronkevich, V.P.** Manufacturing accuracy of diffraction optical elements by laser writing systems with circular scanning / V.P. Koronkevich, V.P. Korolkov, A.G. Poleshchuk, A.A. Kharisov, V.V. Cherkashin // Computer Optics. – 1997. – N 17. – P. 63-74. – (in Russian).

THE FORMATION OF LIGHT TEMPLATES FOR LARGE-SIZED OBJECTS USING THE DIFFRACTION OPTICS METHODS

P.S. Zavyalov¹, Yu.V. Chugui^{1,2,3}

¹ Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TDI SIE SB RAS),

² Novosibirsk State University (NSU),

³ Novosibirsk State Technical University (NSTU)

Abstract

The method of light template formation for large-sized objects (from several to tens of meters) such as antennas has been developed on the basis of diffraction optical elements (DOE). The essence of this method consists in creation into a space of light markers in the form of focused laser beams, the foci of which and intersection points lie on the paraboloid surface describing the shape of the antenna. This approach provides markers assignment with high accuracy (error is 0.02-0.2 mm at a distance of 20-30 m). The calculation of the basic DOE parameters for antenna with the diameter of 25 m is given. Experimental results on light templates formation using two DOE sets generating 19 and 288 light points are presented. It has been shown that under specified choice of optical system parameters for forming the light templates one can visually detect the deviation of the object surface by the value of ± 1 mm. The proposed method can greatly facilitate the implementation of labor-intensive assembly operations, adjustment as well as inspection the shape of large-sized antennas in shop conditions.

Key words: 3D optical inspection, large-sized objects, diffraction optical element, light template, spacecrafts antennas.

Сведения об авторах



Завьялов Петр Сергеевич, 1982 года рождения. В 2005 г. с отличием окончил Новосибирский государственный технический университет по специальности «Физика», кандидат технических наук, работает научным сотрудником в Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения Сибирского отделения РАН (КТИ НП СО РАН). Область научных интересов: дифракционные оптические элементы, прикладная оптика, системы технического зрения и размерного контроля. Автор и соавтор 28 статей и 3 патентов, председатель Совета молодых учёных Института.

E-mail: zavyalov@tdisie.nsc.ru.

Petr Sergeevich Zavyalov, born in 1982, Ph.D, graduated from the Novosibirsk State Technical University on the speciality "Physics" in 2005. Since 2002 he is working as the researcher at the Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS. Now he is the Deputy Head of the Interindustry Technical Vision Laboratory (SB RAS+ROSATOM). His research interests are diffraction optical elements, applied optics, technical vision and dimensional inspection systems. Author and co-author of 28 papers and 3 patents, Chair of the Council of young specialists, holder of some awards.



Чугуй Юрий Васильевич, 1945 года рождения, профессор, доктор техн. наук, заслуженный деятель науки РФ. Окончил в 1968 г. физический факультет Новосибирского государственного университета. Около 18 лет работал научным сотрудником в Институте автоматизации и электротехники Сибирского отделения Академии наук СССР. С 1987 г. по 1991 г. – начальник СКБ научного приборостроения СО АН СССР, а с 1991 г. по настоящее время – директор Конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН, заведующий межотраслевой лабораторией технического зрения (СО РАН + Росатом). Область научных интересов: фурье-оптика трёхмерных объектов, дифракция на трёхмерных объектах, оптический размерный контроль, лазерная метрология.

Более 35 лет преподаёт в Новосибирском государственном университете и 12 лет – в Новосибирском государственном техническом университете (НЭТИ). Автор и соавтор более 320 публикаций, в т.ч. 4 монографий и 28 охраняемых документов. Член ряда отечественных и зарубежных редколлегий и научно-технических российских и зарубежных обществ. Старший член (Senior member) Американского оптического общества (OSA) и Американского общества приборостроителей (ISA). Удостоен правительственных и отраслевых наград.

E-mail: chugui@disie.nsc.ru.

Yuri Vasilievich Chugui, born in 1945, Professor, Doctor of Science, Honoured scientist of the Russian Federation, graduated from the Physical Department of Novosibirsk State University in 1968. For 18 years he worked at the Institute of Automation and Electrometry of the Siberian Branch of USSR Academy of Sciences. Since 1987 up to now he is the director of the TDI SIE SB RAS, head of the Interindustry Technical Vision Laboratory (SB RAS + ROSATOM). His research interests are 3D Fourier optics, diffraction on 3D objects, optical dimensional inspection, and laser metrology.

More than 35 years he is Professor at the Novosibirsk State University and about 12 years at the Novosibirsk State Technical University. Author and co-author of more than 320 publications, including 4 books and 28 patents and inventions. Member of some editorial boards of russian and foreign journal and scientific-technical russian and foreign societies. Senior member of OSA and ISA. Holder of governmental and industry awards.

Поступила в редакцию 14 сентября 2013 г.