

# Аналого-цифровое фотограмметрическое преобразование голографических изображений, записанных с нескольких ракурсов с угловым охватом 4π стерадиан

*Е. В. Рабош, В. А. Коклюшкин, Н. С. Балбекин, Н. В. Петров*

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Данная работа посвящена представлению теоретических и экспериментальных результатов в области аналого-цифрового фотограмметрического преобразования изображений голограмм с целью построения цифровой трехмерной модели объекта. Показано, что построение модели объекта, которая содержит достаточно информации о поверхности объекта, достигается за счет записи не менее четырех голограмм идентичного формата, при записи которых объект своими сторонами ориентируется параллельно граням охватывающего его воображаемого тетраэдра.

*Ключевые слова:* Изобразительная голография, фотограмметрия, аналого-цифровое преобразование, 3D-моделирование.

*Цитирование:* Рабош, Е. В. Аналого-цифровое фотограмметрическое преобразование голографических изображений, записанных с нескольких ракурсов с угловым охватом 4π стерадиан / Е. В. Рабош, В. А. Коклюшкин, Н. С. Балбекин, Н. В. Петров // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 473–477.

## Введение

В серии наших работ [1, 2] была предложена фотограмметрия для аналого-цифрового преобразования информации, содержащейся в изобразительных голограммах. Фотограмметрия необходима в задачах получения цифрового образа, сформированного на основе серии фотографий. В настоящее время необходимое оборудование для проведения съемки, а также программное фотограмметрическое обеспечение легко доступны, что гарантирует получение высокоточных результатов. Так же, как и изобразительная аналоговая голография, фотограмметрия находит широкое применение в качестве инструмента для решения музейных задач [3, 4], в частности для реставрации памятников [5] и археологических объектов [6]. Процесс фотограмметрической оцифровки восстановленного голографического изображения состоит в том, что на цифровую матрицу фотоаппарата регистрируется набор ракурсов голографического изображения при смещении самого фотодетектора относительно голограммы.

### 1. Краткое описание применимости метода

Как нами было показано в работе [2], метод фотограмметрии используется в качестве инструмента оцифровки восстановленного объектного волнового фронта, записанного на отражательную голограмму. Однако при наличии самого физического объекта и в сравнении с ним его голографическое изображение представляет собой ограниченное количество

информации даже при максимально возможном угле обзора голограммы. Следовательно, одно голографическое изображение не может обеспечить восстановление максимально полной информации об объекте.

Максимальный угол обзора достигается за счет трансформации сцены, окружающей объект, относительно фотопластины, а также за счет использования подходящих по размеру фотопластинок. Чтобы достичь наибольший угол обзора голографического изображения, приведем значения в таблице 1, полученные по формуле (1) для различных форматов фотоматериалов, где  $h$  – линейный размер фотопластинки (мм),  $r_o$  – радиус объекта (мм),  $\theta$  – величина угла обзора ( $^\circ$ ),  $\rho_x$  – коэффициент заполнения объектом фотографической пластинки (%),  $N$  – количество голограмм ( $N+1$  означает необходимый ракурс голографического изображения, записанного снизу объекта).

$$\theta = \arcsin\left(\frac{h^2 - 4r_+^2}{h^2 + 4r_+^2}\right), \quad (1)$$

где  $r_+ = r_o + \Delta r$ ,  $\Delta r$  – расстояние от объекта до фотопластины.

Величина коэффициента заполняемости объектом голограммы вычисляется по формуле

$$\rho_x = \frac{2r_o}{h} \cdot 100\%. \quad (2)$$

**Таблица 1.** Соотношение величины угла обзора голограммы, коэффициента заполняемости и количества голограмм, необходимых для получения полной информации

<b>h = 102 мм</b>				<b>h = 130 мм</b>			
$r_o$	$\theta$	$\rho_x$	N+1	$r_o$	$\theta$	$\rho_x$	N+1
10	131	19,6	4	10	141	15,3	4
20	86	39,2	6	20	105	30,7	5
30	48	58,8	9	30	72	46,1	6
40	16	78,4	22	40	43	61,5	10
50	-	> 100	-	50	19	76,9	20
<b>h = 180 мм</b>				<b>h = 240 мм</b>			
$r_o$	$\theta$	$\rho_x$	N+1	$r_o$	$\theta$	$\rho_x$	N+1
10	152	11,1	4	10	159	8,3	4
20	125	22,2	4	20	138	16,6	4
30	99	33,3	5	30	118	25	5
40	75	44,4	6	40	99	33,3	5
50	54	55,5	8	50	81	41,6	5

Таким образом, величины из правого столбца таблицы 1 дают представление о минимальном количестве голограмм для разных форматов пластин и объектов, запись которых позволит провести фотограмметрическую оцифровку полного объектного волнового фронта.

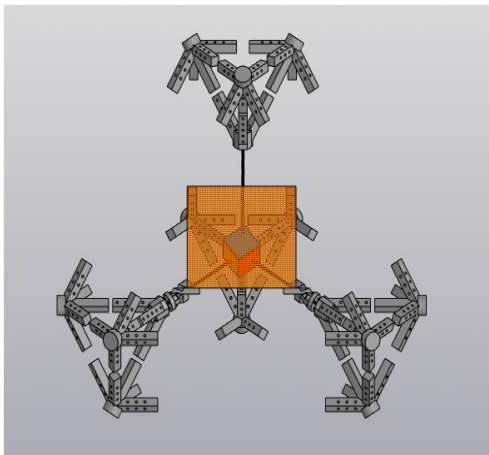
В докладе представлено техническое решение, которое открывает новые возможности для регистрации нескольких голографических изображений одного и того же объекта.

## **2. Разработка модуля для голографической записи объекта целиком**

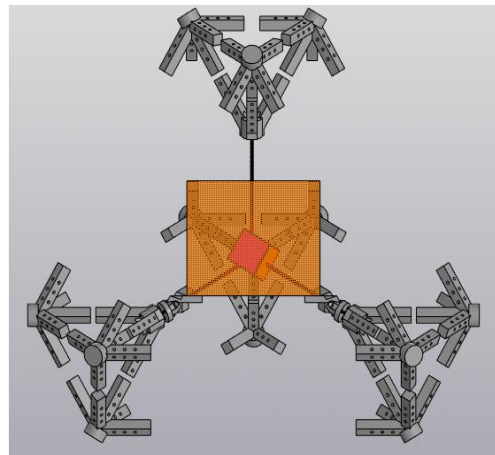
При фотограмметрической съемке следует перемещаться вокруг объекта купольным методом, регистрируя все ракурсы объекта при его равномерном освещении со всех сторон. Так, на стадии выравнивания всех фотографий в фотограмметрическом программном пакете вся серия фотоснимков формирует воображаемую полную сферу, которая, в свою очередь, представляет собой полный телесный угол и равняется  $4\pi$  стерадиан. Соответственно, каждая фотография является своеобразным основанием конуса, угол вершины которого обозначается как телесный угол. При разработке макета, предназначенного для записи нескольких голографических изображений, было предложено охарактеризовать угол обзора восстановленного изображения как телесный угол.

На примере табличных данных (табл. 1) рассмотрим количество голограмм, равное четырем. В пересечении четырех конусов, задающих ракурсы наблюдения, образуется воображаемый тетраэдр, который задает плоскости для записи четырех записываемых голограмм, необходимых для построения цифровой трехмерной модели объекта, содержащей информацию о его поверхности, необходимую для полного представления ее с любого ракурса с угловым охватом  $4\pi$  стерадиан.

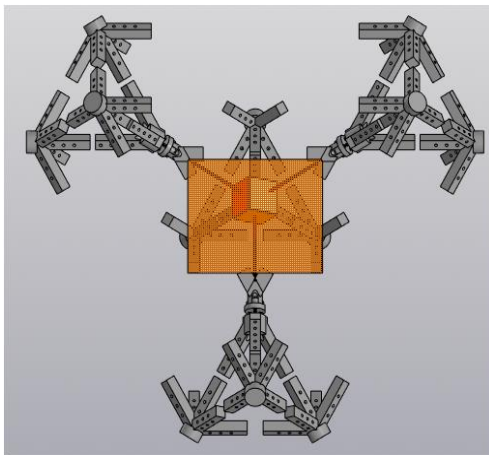
Моделирование макета для регистрации объектного волнового фронта выполнялось в программе КОМПАС-3D. Макет состоит из двух основных частей, связанных между собой: внешний каркас и внутренний полый каркас, представляющий воображаемый тетраэдр. Каркасы состоят из конструктивных элементов – пятиконечные и трехконечные кресты, двенадцать для внешнего каркаса и четыре для внутреннего, соответственно. Фотопластинки одинакового формата ( $10 \times 12$  см) укладываются на специальные лапки, имеющиеся у конструктивных элементов внутреннего каркаса в четырех плоскостях (рис. 1).



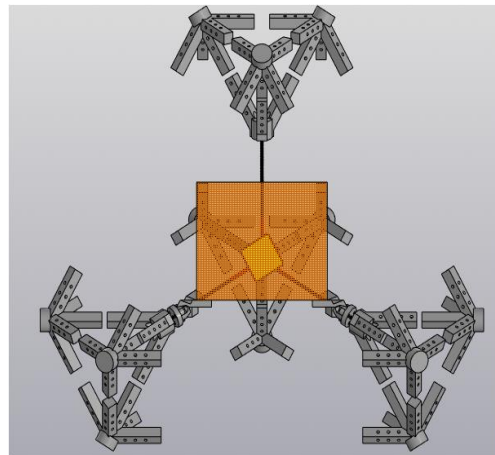
а) Ракурс № 1



б) Ракурс № 2



в) Ракурс № 3



г) Ракурс № 4

**Рис. 1 (Продолжение).** Проекция устанавливаемой фотопластинки на внешний каркас модуля для записи четырех голографических изображений

### Заключение

Данная работа является продолжением исследований в области аналого-цифрового фотограмметрического преобразования изображений голограмм. Были представлены основные аргументы в пользу развития предлагаемой методики. Предложен модуль, разработанный для записи четырех аналоговых голограмм одинакового формата. Детали для позиционирования и крепления голографических пластинок изготовлены методом 3Д-печати. Предлагаемый модуль подходит для записи малогабаритных физических объектов, размеры которых не превышают линейных размеров фотопластин.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках Государственного задания (Паспорт № 2019–0903).

### Список источников

- [1] **Rabosh, E. V.** Analog-to-digital conversion of information archived in display holograms: I. discussion / E. V. Rabosh, N. S. Balbekin, N. V. Petrov // Journal of the Optical Society of America. — 2023. — Vol. 40. — Issue 4. — P. 47–56. — DOI: 10.1364/JOSAA.478498.

- [2] **Rabosh, E. V.** Analog-to-digital conversion of information archived in display holograms: II. photogrammetric digitization / E. V. Rabosh, N. S. Balbekin, A. M. Timoshenkova, T. V. Shlykova, N. V. Petrov // Journal of the Optical Society of America. – 2023. – Vol. 40. – Issue 4. – P. 57–64. – DOI: 10.1364/JOSAA.478499.
- [3] **McCarthy, J.** Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement / J. McCarthy // Journal of Archaeological Science. – 2014. – Vol. 43 – P. 175–185. – DOI: 10.1016/j.jas.2014.01.010.
- [4] **Ballarin, M.** Replicas in cultural heritage: 3D printing and the museum experience / M. Ballarin, C. Balletti, P. Vernier // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2018. – Vol. 42 – P. 55–62. – DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-55-2018.
- [5] **Pavlidis, G.** Methods for 3D digitization of cultural heritage / G. Pavlidis, A. Koutsoudis, F. Arnaoutoglou, V. Tsioukas, C. Chamzas // Journal of Cultural Heritage. – 2007. – Vol. 8 – P. 93–98. – DOI: 10.1016/j.culher.2006.10.007.
- [6] **Vlachos, M.** Software comparison for underwater archaeological photogrammetric applications / M. Vlachos, L. Berger, R. Mathelier, P. Agrafiotis, D. Skarlatos // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2019. – Issue. XLII-2/W15. – P. 1195–1201. – DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1195-2019.

## **Analog-to-digital photogrammetric conversion of holographic images recorded from several angles with an angular coverage of $4\pi$ steradian**

*E. V. Rabosh, V. A. Kokliushkin, N. S. Balbekin, N. V. Petrov*

ITMO University, Saint Petersburg, Russia

This work is devoted to the presentation of theoretical and experimental results in the field of analog-to-digital photogrammetric conversion of hologram images to build a digital three-dimensional model of an object. It is shown that the construction of an object model that contains sufficient information about the surface of the object is achieved by recording at least four holograms of an identical format, during which the object is oriented with its sides parallel to the faces of an imaginary tetrahedron enclosing it.

*Keywords:* Display holography, photogrammetry, analog-to-digital conversion, 3D-modeling.