

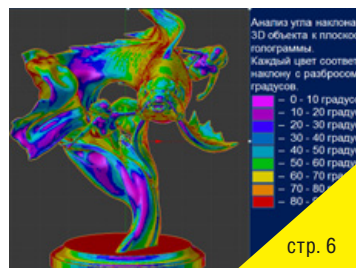
2018-3 (12) СОДЕРЖАНИЕ



стр. 3

Доклады

Ю.Н. Овечкис, ovechkis@yandex.ru
Пленоптические системы в приложении к голографии 3



стр. 6

Технологии

Н.В. Кондратьев, kondr1216@mail.ru, С.Б. Одинокоев, А.Ф. Смык,
А.В. Шурыгин, Н.А. Чудинов
Программа BIGLIGHTO для подготовки «серых голограмм» большого размера 6



стр. 18

О.Н. Раев, ncenter@list.ru
Преобразование оптического изображения с периодическим изменением освещённости в кадре матрицей фото- и киноаппарата 11

А.Ф. Смык, smykholography@gmail.com, А.В. Шурыгин
Непосредственная запись голограмм на металле и пластике 18



стр. 37

А.О. Субботкин, Ш.Я. Вахитов
Развитие и технический анализ современных остронаправленных интерференционных микрофонов 24

Стандартизация

Г.В. Фокин, finas@finas.su
Защита инвестиций Авторским свидетельством 32

Страницы истории кино

Н.А. Майоров, henrymay@mail.ru
Самые первые в истории развития мирового кинематографа (окончание) 37

Требования для публикации научных статей в журнале «МИР ТЕХНИКИ КИНО»

1. Статья представляется на электронном носителе, либо по почте Kevin@paradiz.ru, объёмом не более 40 000 знаков.
2. Рисунки должны быть отдельно в JPG или TIF с разрешением не менее 300 dpi.
3. Статьи должны содержать (на русском и английском языках):
 - название;
 - аннотацию (краткую);
 - ключевые слова.
4. С авторами заключается лицензионное соглашение на публикацию.
5. Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: Филиал «НИКФИ» АО «ТПО «Кино студия им. М. Горького», ООО «ИПП «КУНА»
Выпуск издания осуществлён при финансовой поддержке: 1. Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям 2. ЧОУ ДПО «Высшая школа киноинженеров».

Руководитель проекта: Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Индин Юрий Александрович, к.т.н.
Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич
Вёрстка и дизайн: Луговая Мария Васильевна
Корректор: Сайкина Наталья Владимировна

Члены редакции:
Овечкис Ю.Н., д.т.н., Московский Политехнический Университет, РФ
Вишняков Г.Н., проф., д.т.н., ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, РФ
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГИК, г. Санкт-Петербург, РФ
Сакварелидзе М.А., д.х.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Винокур А.И., д.т.н., Московский Политехнический Университет, РФ
Перегунов А.Ф., к.т.н., ВГТРК, г. Санкт-Петербург, РФ
Березин О.С., «Невафильм», г. Санкт-Петербург, РФ
Барский И.Д., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Одинокоев С.Б., д.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ
Раев О.Н., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Волков А.С., к.т.н., Министерство культуры РФ

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5 п.л. Заказ № 148441.
Тираж 999 экземпляров.

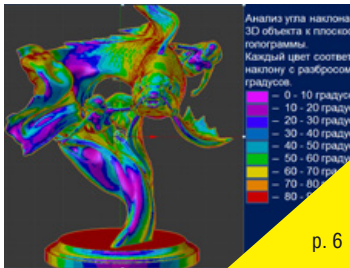
Свидетельство о регистрации
СМИ-ПИ № ФС77-65712 от 13 мая 2016 года.

Перепечатка материалов осуществляется только с разрешения редакции, ссылка на журнал обязательна. Редакция не несёт ответственности за достоверность сведений о рекламе и объявлениях. Мнение редакции и рецензентов не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.

www.mtk-magazine.ru, e-mail: kevin@paradiz.ru
телефон (факс): +7 (495) 795-02-99, 795-02-97



p. 3



p. 6



p. 18



p. 37

2018-3 (12) CONTENT

Technology

Yu.N. Ovechkis, ovechkis@yandex.ru
PlenopticSystems and Holography

3

Technology

N. Kondratiev, kondr1216@mail.ru, S. Odinkov, A. Smyk,
A. Shurygin, N. Chudinov
Program BIGLITHO for preparation of "GRAY HOLOGRAM" of large size

6

O. Raev, ncenter@list.ru
**Conversion of Optical Image with Periodic Illuminance Change
of the Frame by Photo and Movie Camera's Matrix**

11

A. Smyk, smykholography@gmail.com, A. Shurygin
Direct hologram recording on metal surface

18

A. Subbotkin, Sh. Vakhitov
**Development and technical analysis of the modern
narrow-angle directional interference microphones**

24

Standardization

G. Fokin, finas@finas.u
Investment protection by copyright certificate

32

Movie history

N. Maiorov, henrymay@mail.ru
The very first in the history of development world cinematography

37

The requirements for the publication of scientific articles in the journal «World of technique of cinema»:

1. Articles (papers) are submitted in electronic format, by mail Kevin@paradiz.ru, volume of no more than 40 000 characters.
2. Pictures must be sent as separate files in JPG or TIF format with a resolution of at least 300 dpi.
3. Articles (papers) should contain (in Russian and in English):
 - the name,
 - annotation,
 - keywords.
4. Authors must conclude a license agreement for publication.
5. Graduate students are not charged for publication.

Electronic version www.elibrary.ru

Subscription index Rospechat: № 81923

Scientific and Technical Journal «World of Technique of Cinema»
is published 4 times per year

Publisher by IPP «CUNA» Ltd.
Founded by IPP «CUNA» Ltd. and branch «Cinema and photo
research institute» JSC «Gorky film studio».

Certificate of Registration Media-PI № F577-65712
May 13, 2016.

www.mtk-magazine.ru,
e-mail: kevin@paradiz.ru,
tel. (fax): +7 (495)795-0297,795-0299

Chairman Ph.D. Yu.Indlin

Members of the editorial board:
Dst. Y. Ovechkis, Moscow Polytechnic University, RF
Dst. prof. G. Tihomirova, SPbGUCT, Sankt-Petersburg, RF
Dst. prof. G. Vishnyakov, FSUE «VNIIOFI», Moscow, RF
Dst. M. Sakvarelidze, VGIK, Moscow, RF
Dst. prof. A. Vinokur, Moscow Polytechnic University, RF
O. Berezin, Nevafilm, Sankt-Petersburg, RF
Dst. prof. C. Odinkov, Bauman MSTU, Moscow, RF
Ph.D. A. Peregodov, RTR, RF
Ph.D. I. Barsky, VGIK, Moscow, RF
Ph.D. O. Raev, VGIK, Moscow, RF
Ph.D. A. Volkov, Ministry of Culture RF.

No part of this issue may be reproduced without written
permission of the publisher,
reference to the journal is obligatory.
World of Technique of Cinema owns the copyrights to all
published material, unless otherwise stated.
Statements and opinions expressed in articles or
editorials are expressions of contributors and do not
necessarily represent the policies or opinions of Board of
Editors. Opinion of editorial boards and of reviewers
do not always coincides with the point of view of authors
of articles.
Advertisements appearing in the publication are the sole
responsibility of the advertiser.

Printed in Russia.



ПЛЕНОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

в приложении к голографии

(доклад на XV Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям, 11–13 сентября 2018, Нижний Новгород, Россия)



Ю.Н. Овечкис, д.т.н., ovechkis@yandex.ru,
Московский политехнический университет, РФ

Аннотация

Приводятся основные принципы нового пленоптического метода видео-, кино- и фотосъёмки, история развития. Отражены как некоторое сходство с голографией, так и принципиальные различия, приводятся примеры возможного применения в изобразительной голографии, в частности, в системе объёмного голографического кинематографа.

Ключевые слова: интегральная фотография, пленоптическая камера, голография, автостереоскопия, стереоскопия, голографический кинематограф.

■ В работе рассмотрены основы пленоптического способа регистрации информации о пространственных характеристиках отображаемых объектов при видео-, кино- или фотосъёмке. Подобно голографической технологии, информация записывается в закодированном виде на фоторегистрирующий носитель, причём, что существенно, в цифровом виде, а соответствующее программное обеспечение позволяет определить про-

PLENOPTIC SYSTEMS AND HOLOGRAPHY

Yu.N. Ovechkis, ovechkis@yandex.ru, Ph.D, Moscow Polytechnic University, Russia

Annotation

The report describes the basics of the plenoptic method of recording information about the spatial characteristics of the displayed objects by video, film or photography. Like holography, information is recorded in coded form on a photo-recording material, but in digital form, and the corresponding software allows to determine the spatial coordinates of each points of objects and reconstruct their virtual model. Thus, the light field recorded with memorization of the light rays directions. In this case, unlike the holographic interference method of wave field registration, the recording and the encoding is made in the usual white light. Examples of possible application in image holography are given, particularly in holographic cinema.

Keywords: *Integral photography, Plenoptic camera, Holography, Autostereoscopy, Stereoscopy, Holographic Cinema.*

странственные координаты точек объектов и построить их виртуальную модель. Иными словами, при пленоптической съёмке осуществляется запись светового поля, падающего на фоторегистратор, с запоминанием направления световых лучей. При этом, в отличие от голографического интерференционного метода регистрации волнового поля, запись с кодировкой производится в обычном белом свете.



Рис. 1. Габриэль Липпман, 1908 год. Способ записи в белом свете объёмного изображения с рассматриванием без оптических приспособлений

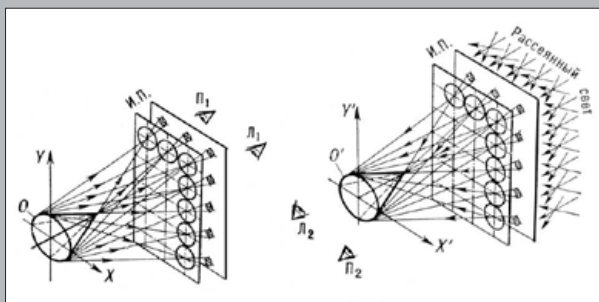


Рис. 2. Слева – запись интегральной фотографии объекта O, справа – восстановление его объёмного изображения O'. И.П. – интегральная фотопластина, состоящая из микролинзового раstra и фоточувствительного фотослоя, П_{1,2} и Л_{1,2} – правый и левый глаз наблюдателя при съёмке и наблюдении интегральной фотографии

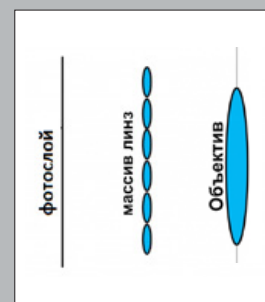


Рис. 3. Интегральная фотография с объективом

Термин «пленоптика» происходит от латинского «пленус» – полный и древнегреческого «оптикус» – зрительный, т.е. полный обзор, что весьма родственно термину «голография» – древнегреческое «полный» и «пишу».

Идеология пленоптики восходит к предложенному в 1908 году Габриэлем Липпманом [1] способу съёмки интегральной фотографии, в соответствии с которым перед фоточувствительным эмульсионным слоем располагается растр, состоящий из множества сферических микролинз.

Это позволяет осуществить одновременную регистрацию множества ракурсов снимаемого объекта и после химико-фотографической обработки восстановить объёмное изображение объекта съёмки. На рис. 2 приведена оптическая схема, реализующая данный метод.

Как можно видеть на рис. 2, за каждой микролинзой формируется изображение соответствующего ракурса регистрируемого объекта. При освещении обработанной интегральной фотографии рассеянным светом по законам лучевой оптики в пространстве формируется действительное объёмное изображение объекта. Отметим, что изображение при этом псевдоскопическое, и для его трансформации в ортоскопическое необходима вторичная интегральная пересъёмка.

Способ впоследствии развивался и усовершенствовался многими исследователями, в том числе отечественными, для повышения качества автостереоскопического изображения и его глубины. Стали применять растры с цилиндрическими линзами – лентикулярные растры [2], существенно упростившие технологию, но ограничившие изменение ракурсов только в горизонтальном направлении. Появились предложения использовать промежуточный объектив (рис. 3), ограничивающий углы падения лучей на растр, но имеющий достаточно большую апертуру, определяющую границы регистрируемых ракурсов съёмки [3,4].

Все эти способы предусматривали исключительно аналоговую регистрацию на стеклянный, плёночный или бумажный фотоноситель с последующим восстановлением изображения в белом свете. К сожалению,

низкое качество формируемого объёмного изображения и относительно малая его пространственная глубина, обусловленные в основном недостаточным разрешением фотослоя и линзового раstra, ограничили широкое применение интегральной фотографии.

Принципиальное изменение метода заключается в переходе на цифровые методы [5,6]. В отличие от способа изготовления фотографии Липпмана с объективом, в 1992 году Эдельсон и Вэн [6] ввели понятие "пленоптическая функция светового поля" и предложили регистрацию изображения производить на светочувствительный сенсор – высокоразрешающую ПЗС матрицу.

Съёмка осуществляется (рис. 4) основным объективом с полностью открытой диафрагмой через растр с микролинзами, установленный в его фокальной плоскости [5,6]. При этом на матрице регистрируется распределение интенсивности в выходном зрачке объектива. Каждый пиксель за микролинзой характеризует информацию о соответствующем ракурсе данного элемента изображения. Разрешение объёмного изображения определяется размером микролинз раstra и их количеством, а число пикселей за каждой линзой определяет число регистрируемых ракурсов. Таким образом, общее число пикселей на матрице ПЗС или число зарегистрированных лучей – $P = m \cdot n$, где n – разрешение изображения (число микролинз), m – число разрешимых ракурсов (число пикселей за микролинзой).

По известным координатам (x, y) расположения пикселей и координатам (u, v) центров микролинз, с учётом световой интенсивности на каждом пикселе и габаритных параметров камеры, специально разработанное программное обеспечение позволяет расчётным путём определить направление и интенсивность световых пучков, исходящих из объектива, т.е. получить виртуальную модель светового поля за объективом.

С полученными таким образом виртуальными изображениями можно производить всевозможные преобразования – перефокусировку, менять глубину резкости, выделять различные сечения снимаемых объектов, устанавливая

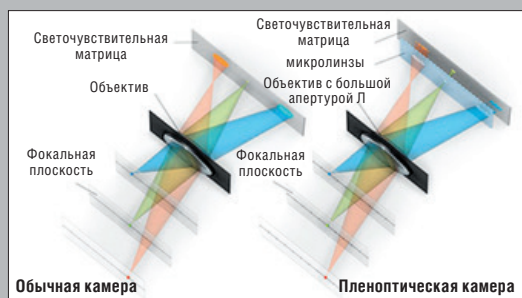


Рис. 4. Схематическое изображение хода лучей в обычной и пленоптической камерах [5]

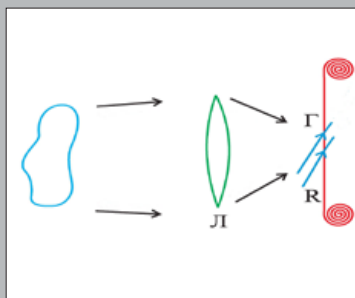


Рис. 5. Схема киносъёмки голографического фильма Г объективом с большой апертурой Л. R – опорный лазерный пучок света



Рис. 6. Прототип пленоптической камеры Lytro Cinema

виртуальные диафрагмы произвольной формы и пр. [7]. Важно отметить, что все эти преобразования осуществимы в **постсъёмочный** период. Допустимо также получать множество одноракурсных изображений в пределах апертуры съёмочного объектива. Это позволяет получать исходные ракурсы для формирования стереоскопических изображений, причём с возможностью выбора съёмочного базиса для учёта параметров их демонстрации [6].

Простота выбора ракурсов при выводе их изображений на экран и возможность автоматизации этого процесса может оказаться полезна при изготовлении синтезированных голограмм с изменением ракурсов по горизонтали и вертикали [8]. Сочетание пленоптической технологии с методами проекции объёмных изображений на голографический экран [4] представляется интересным для возобновления работ по созданию системы голографического кинематографа.

Действительно, согласно предложенным В.Г. Комаром основным принципам построения голографического кинематографа [4], съёмка фильма должна была производиться на голографический носитель (плёнку) через объектив с большой апертурой Л (рис. 5). После соответствующей химико-фотографической обработки и проведения необходимых преобразований при печати, проекция предполагалась на голографический точнофокусирующий множительный экран также с применением широкоапертурного проекционного объектива.

Одним из серьёзных препятствий для реализации такой системы являлась сложность осуществления голографической съёмки в лазерном свете на натуре и в больших помещениях. Проблема решается путём перехода к пленоптической регистрации объёмного киноизображения с последующим его переводом на голографический носитель. Как отмечалось выше, пленоптическая технология формирования совокупности различных ракурсов объёмного изображения в сочетании с технологией записи синтезированных голограмм позволяет это реализовать в автоматизированном режиме. Отметим, что требования к съёмочному объективу в системах голографической и

пленоптической съёмки, а именно, полное отсутствие виньетирования, совпадают.

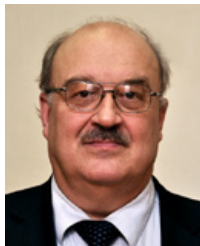
В заключение отметим, что основанием для утверждения о реальности слияния пленоптической технологии и голографического объёмного безочкового кинематографа служит созданный фирмой Lytro прототип пленоптической кинокамеры с матрицей 755 мегапикселей и частотой смены кадров 300 гц [9] (рис. 6) в совокупности с необходимым для её работы вычислительным оборудованием и программным обеспечением. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Lippmann G.*, Epreuves réversibles. Photographies intégrées, «Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris», 1908, v. 146(9), 446–451.
2. U.S. Patent 1 128 979: Hess, Walter. Stereoscopic picture, filed 1 June 1912.
3. *Дудников Ю.А., Рожков Б.К.* Растровые системы для получения объёмных изображений – Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отд., 1986. – 214 с.
4. *Комар В.Г., Серов О.Б.* Изобразительная голография и голографический кинематограф. М: Искусство, 1987. – 286 с.
5. *Асмаков С.* Пленоптические камеры: новая эра фотографии <https://compress.ru/article.aspx?id=14645>
6. *E.H. Adelson и J.Y.A. Wang.* Single lens stereo with a plenoptic camera. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, № 2, pp. 99–106, 1992.
7. *Ватолин Д.С.* Рендеринг фокуса, разрешения, формы диафрагмы, формы затвора пленоптических камер / Мир техники кино – 2016–4 (10). – С. 14–21.
8. *Zacharovas Stanislovas.* Advances in Digital Holography, IWHM 2008 International Workshop on Holographic Memories Digests, pp. 55-67, 2008, Japan.
9. *Rishi Sanyal, Jeff Keller.* Change of focus: 755 MP Lytro Cinema camera enables 300 fps light field video <https://www.dpreview.com/news/1169305265/lytro-cinema-brings-light-field-technology-to-filmmakers>.



ПРОГРАММА BIGLITHO ДЛЯ ПОДГОТОВКИ «СЕРЫХ ГОЛОГРАММ» БОЛЬШОГО РАЗМЕРА



Н.В. Кондратьев, к.т.н., kondr1216@mail.ru, филиал «НИКФИ» АО «ТПО «Кино-студия им. М.Горького»; С.Б. Одинокоев, д.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана; А.Ф. Смык, к.т.н., А.В. Шурыгин, Н.А. Чудинов, ООО «Джеймс Ривер Бранч», РФ

Аннотация

Разработанная нами программа под названием *BigLitho* создаёт неограниченное количество файлов изображений, обеспечивая большие размеры голограммы. Большое количество уровней разбиения исходной высоты объекта в программе способствует созданию голограммы с ярко выраженной формой поверхности изображения.

Компьютерные голограммы «нулевого порядка» имеют ограничения по размеру из-за ограниченного максимального размера файлов растровых изображений и количества градаций серого цвета на них. Так, размер файла серой карты глубины не может быть больше, чем 30 К x 30 К пикселей и обладает обычно 16-битной глубиной оттенков серого, что недостаточно для создания голограмм большого размера. Компьютерные 3D модели могут обеспечить высокое разрешение при рендеринге в 3D редакторах.

В статье представлены образцы размером до 8" с разрешением кадра 1920x1080 пикселей. Общее количество фреймовых файлов превысило один миллион, что не представляется возможным сделать обычным способом. Программа может быть расширена для рендеринга комплексного распределения оптического поля объёмных голограмм. Такой подход может быть использован для проекционных матричных систем, систем электронного формирования пучков и 3D голографических принтеров.

Ключевые слова: голография, голограмма «нулевого порядка», голограмма большого размера, голографическое программное обеспечение.

С распространением автоматических систем оригинации голограмм традиционный подход к форми-

PROGRAM BIGLITHO FOR PREPARATION OF "GRAY HOLOGRAM" OF LARGE SIZE

N. Kondratiev, Ph.D., kondr1216@mail.ru, branch «Cinema and Photo Research Institute», S. Odinokov, Ph.D., MG TU, A. Smyk, Ph.D., A. Shurygin, N. Chudinov, ООО «James River Branch», Russia

Abstract

The program developed by us called *BigLitho* creates an unlimited number of image files, providing large hologram sizes. A large number of levels of breaking the initial height of the object in our program contributes to the creation of a hologram with a pronounced form of the image surface.

Computer holograms of "zero order" have size limitations because of the limited maximum size of raster image files and the number of gray scale gradations on them. So the file size of the gray depth map can not be greater than 30 K x 30 K pixels and usually has a 16-bit depth of grayscale, which is not enough to create large-size holograms. Computer 3D models can provide high resolution when rendering in 3D editors.

The article presents samples up to 8" with a resolution of 1920x1080 pixels. The total number of frame files has exceeded 1 million, which is not possible to do in the usual way. The program can be extended to render the complex distribution of the optical field of volume holograms. This approach can be used for projection matrix systems, electron beam formation systems and 3D holographic printers.

Keywords: holography, "zero-order" hologram, large-size hologram, holographic software.

рованию фреймов для экспонирования всё меньше удовлетворяет голографистов. С появлением новых воз-

возможностей проекционных оптических систем дот-матрикс и электронно-лучевых систем записи и расширением номенклатуры защитных элементов рассчитывать голограммы на основе растровых изображений стало затруднительно из-за ограничения размера и разрешения голограмм, накладываемых растровой графикой. Так, максимальный размер bmp файла во многих графических редакторах ограничен 30000x30000 pix. При использовании полного разрешения ЖК модулятора 1024x768 pix и размере одиночного фрейма 200x150 мкм, оставляет на изображении всего $(30000/1024 \times 0,2) \times (30000/768 \times 0,15) = 5.86 \text{ мм} \times 5.86 \text{ мм}$. Увеличить размер голограммы можно только ценой потери разрешения в проецируемых фреймах. Это приемлемо при расчёте 2D, 2D/3D голограмм и стереограмм с бинарным профилем голографических полос, однако для голограмм «нулевого порядка» и голограмм с небинарным или асимметричным профилем полос необходимо использование всего разрешения ЖК [2]. Кроме того, количество этих фреймов для голограммы 300x300 мм составляет $(300/0,2) \times (300/0,15) = 3000000$ файлов.

Для устранения этих ограничений была разработана программа BigLitho, позволяющая рассчитывать проецируемые на ЖК файлы (фреймы) прямо из 3D модели объекта, минуя «бутылочное горлышко» графических редакторов. Волновое поле в области каждого фрейма или система голографических полос в нём рассчитывается внутри программы BigLitho.

Традиционно для изготовления литограммы [1] в каком-либо 3D редакторе создавался объект в виде барельефа (рис. 1). Затем, на основе этого профиля, создаётся серая карта глубины (рис. 2). Для оригинации голограммы с помощью программы BigLitho создание барельефа не является необходимым. Можно использовать любые не глубокие объекты (рис. 3, рис. 7), что сокращает время подготовки голограммы, а также расширяет выбор объектов.

Получить профиль высотой h_1 , задуманный художником в исходном 3D объекте на голографическом материале толщиной $h_2 = 2\text{--}10$ микрон, можно используя



Рис. 1. Вид барельефа в 3D редакторе

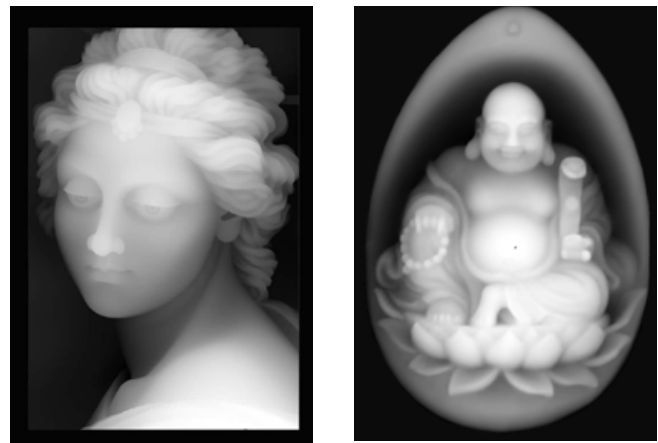


Рис. 2. Карты глубины, созданные на основе 3D объектов

идею изготовления киноформа (рис. 3). В традиционном методе это происходит на основании файла карты глубины, диапазон градаций серого цвета которой не может быть более чем 16 бит. Файлы карты глубины преобразуются в файлы фреймов, которые имеют глубину цвета 8 бит, а размер их равен разрешению ЖК модулятора. При этом минимальное количество слоёв без учёта кривой чувствительности фотоматериала получается $2^{16} / 2^8 = 2^8$, то есть 256 слоёв. Файлы фреймов с глубиной цвета 8 бит выводятся на ЖК или LCoS модулятор для экспонирования голограммы.

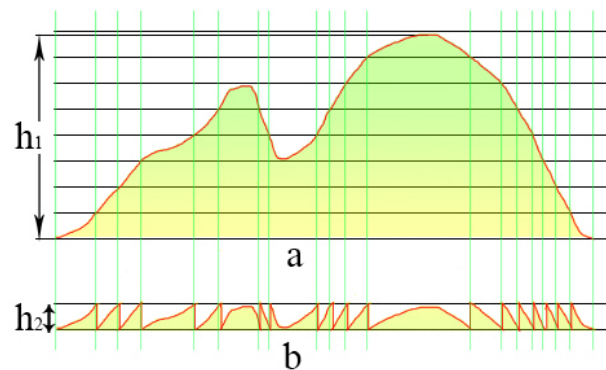


Рис. 3. Формирования киноформа на фотоматериале: а – исходный профиль; б – профиль на материале

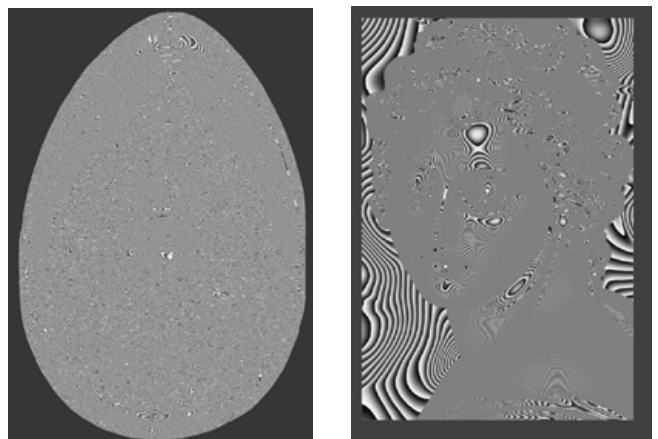


Рис. 4. Вид литограммы (в рассеянном свете), разделённой на 256 слоёв

Так как характеристическая кривая фотоматериала нелинейна и представляет некую функцию, приведённую на рис. 5, то при экспонировании выбирается не весь диапазон значений этой функции, а лишь его линейная часть. Из рисунка видно, что самые тёмные зоны на файле фрейма должны быть не чёрными (значение цвета = 0), а равными некоторой другой величине, определяемой из опыта. На рисунке это значение равно 75. Это значит, что вместо 256 оттенков серого используется только $(255-75)=180$, что приводит к тому, что реальное количество слоёв в традиционном методе может быть увеличено до значения $65536/180=372$ слоя.

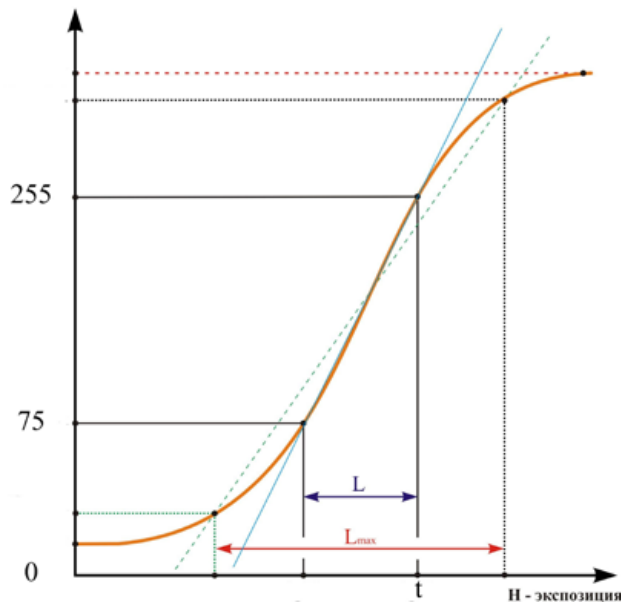


Рис. 5. Характеристическая кривая фотоматериала

Программа BigLitho работает не с растровыми картинками, а с векторным объектом. Поэтому разбиение общей высоты на уровни не ограничено соотношениями глубины цвета в карте глубины и может быть значительно увеличено. А для голограмм больших размеров это очень важно, так как и глубина на них должна быть

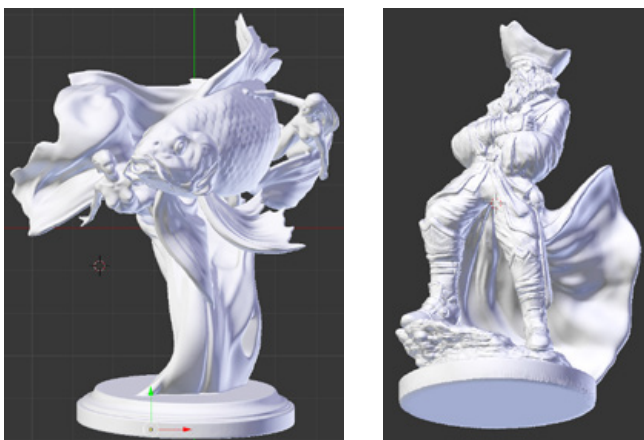


Рис. 6. Две 3D модели, не являющиеся барельефами

больше. Программа BigLitho позволяет создать любую трёхмерную модель, не создавая барельефа, а также импортировать в программу все возможные 3D модели, которые создавались в популярных 3D редакторах, таких, как 3Ds max, Maya, Cinema 4D и т.д., используя метод экспорта (рис. 6).

В программе можно оперативно выбирать точку зрения на созданный объект, менять масштаб конечного изображения. Можно сделать предварительный просмотр объекта или структуры литограммы (рис. 4, рис. 7), и выбрать оптимальное число слоёв разбиения высот объекта. Число слоёв может быть увеличено до 100000.

Наличие просмотра позволяет, не записывая голограмму, делать необходимую коррекцию объекта, а затем, не создавая промежуточной растровой карты глубины немыслимого размера, запустить рендеринг фреймов для создания голограммы большого размера. В частности, с помощью программы возможно изготовление голограмм построением 3D моделей по серии фотографий.

Так как для создания большой голограммы количество фреймов, а, как следствие, и время рендеринга может быть достаточно большим, в программе предусмотрена возможность параллельной работы на нескольких компьютерах. Также для ускорения рендеринга программа позволяет задействовать графические процессоры видеокарты благодаря возможности использования технологии CUDA.

Наличие подключённой локальной базы данных программа BigLitho позволяет легко оперировать проектами. Создавать новые проекты, их модифицировать и отлаживать, а также удалять проекты со всей служебной информацией. Программа позволяет автоматически создавать папки для хранения файлов фреймов проекта, создавать необходимые для работы специфические файлы, управляющие экспонированием, файлы, конфигурирующие работу самой программы и условия генерации фреймов. При удалении проекта происходит

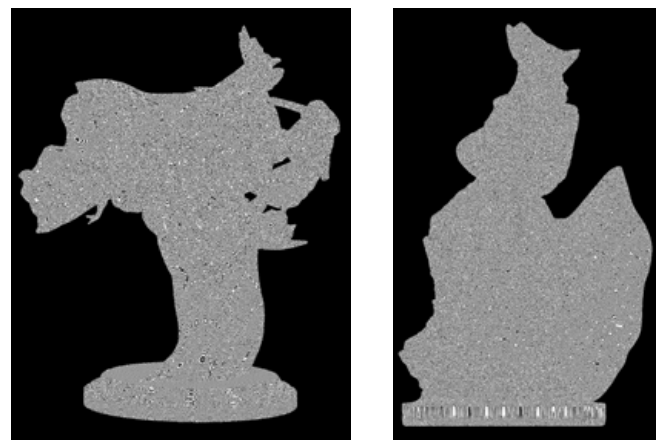


Рис. 7. Превью структуры полос литограммы с разбиением по высотам на 1000 уровней для фигур, не преобразованных в барельеф

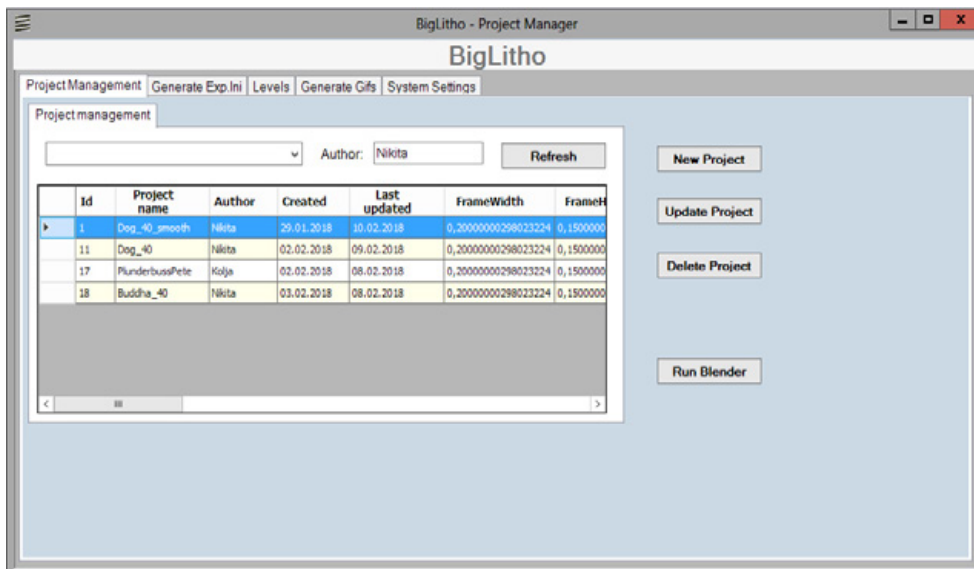


Рис. 8. Гибкое и удобное управление проектами

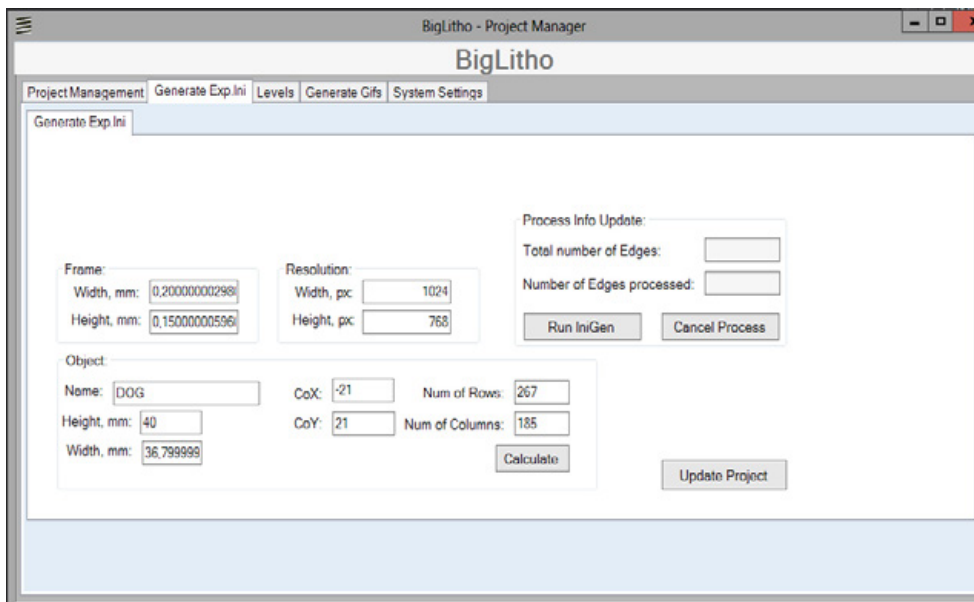


Рис. 9. Выбор параметров голографической установки, а также параметров будущей голограммы

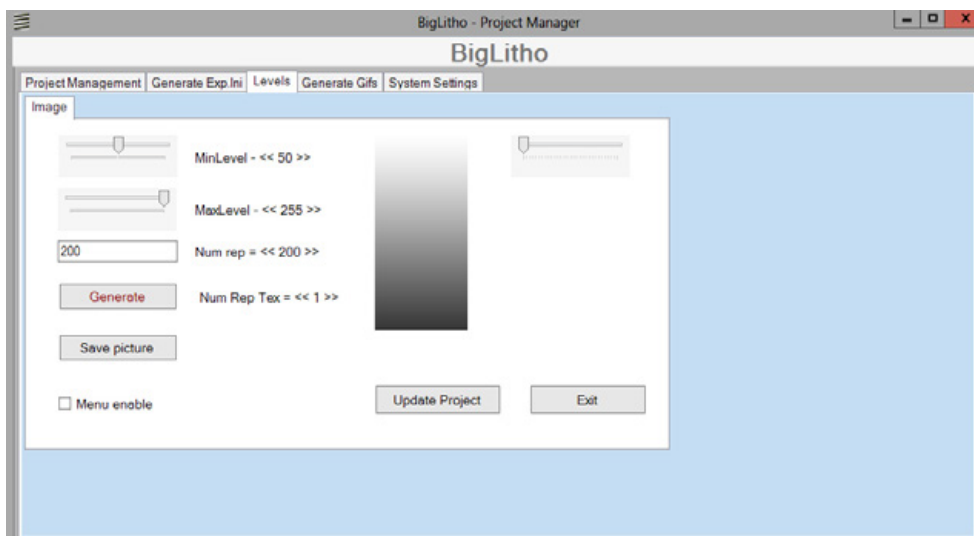


Рис. 10. Выбор количества уровней разбиения

полная очистка дискового пространства от всей созданной проектом информации (рис. 8).

На странице “Generate Exp.ini” выбираются и запоминаются параметры установки для изготовления голограмм. Рассчитывается количество строк и количество фреймов в строке, исходя из размеров голограммы (рис. 9). Эта страница позволяет проводить генерацию фреймов на разных компьютерах путём задания значений строки начала и конца генерации.

Страница программы “Levels” предназначена для выбора и установки количества уровней разбиения объекта (рис. 10). В программе имеется возможность анализа угла наклона поверхности объекта к плоскости голограммы, что позволяет организовать адаптивное разбиение на слои. При большом угле наклона поверхности объекта (80–90 градусов), пространственная частота решётки, образующей голограмму, становится слишком высокой, и изображение на голограмме приобретает радужную окраску. Чтобы это исправить, количество уровней разбиения необходимо уменьшить. И наоборот, когда поверхность объекта почти параллельна к плоскости голограммы, линии, образующие голограмму, становятся низкочастотными и, следовательно, видимыми невооружённым взглядом. Для исправления этого недостатка нужно увеличить количество слоёв разбиения. На

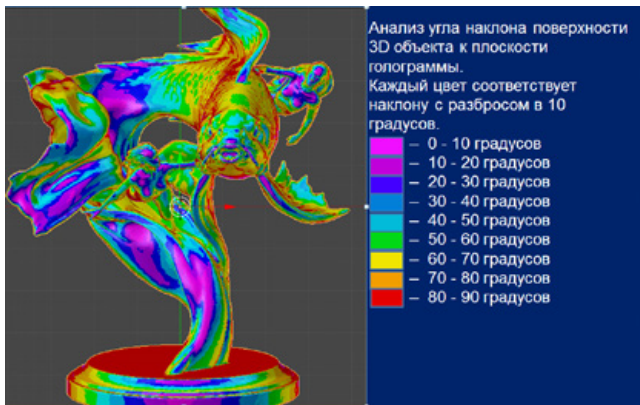


Рис. 11. Анализ углов наклона поверхности объекта к плоскости наблюдения



Рис. 13. Примеры голограмм

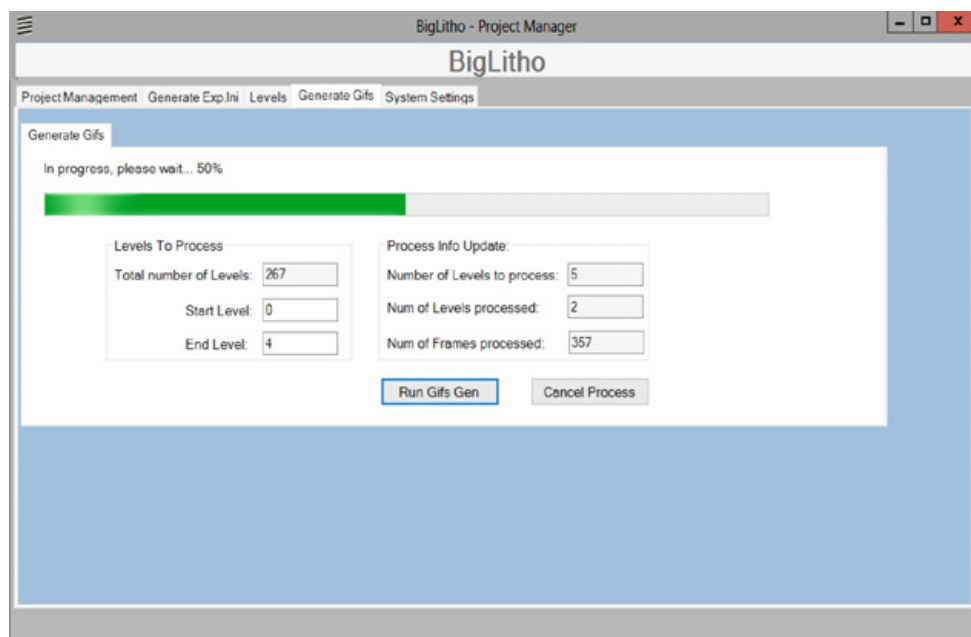


Рис. 12. Страница генерации фреймов и контроля над процессом генерации

рисунке 11 показано распределение углов поверхности объекта к плоскости голограммы.

Заключение

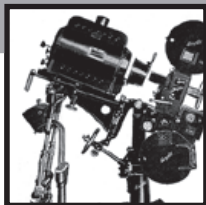
Программа BigLitho создаёт голограммы нулевого порядка большого размера без искажений профиля объекта. Разрешение файла фрейма получается высоким, как разрешение ячеек SLM.

Представлены образцы размером до 100 x 100 мм с разрешением файла фрейма до 1920 x 1080 пикс. Программа может использоваться для сложного расчёта распределения оптического поля для толстослойных голограмм.

Программа может быть использована для проекционных матричных систем, систем электронного формирования пучка и 3D голографических принтеров. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Смык А.Ф., Шурыгин А.В. Асимметричные профили в поверхностно-рельефных голограммах / Мир техники кино. – Москва. – 2018-1(12) – с. 23-30.
2. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3486/КИНОФОРМ
3. <https://studfiles.net/preview/2378273/>
4. Robert J. Collier, Christoph B. Burckhardt, Lawrence H. Lin (Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин). Optical Holography. Bell Telephone Laboratories Murray Hill, New Jersey 1971 Academic Press New York and London.
5. <https://www.geforce.com/hardware/technology/cuda/technolog>



ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ с периодическим изменением освещённости в кадре матрицей фото- и киноаппарата



О.Н. Раев, ncenter@list.ru, к.т.н., доцент, Всероссийский государственный институт кинематографии имени С.А. Герасимова, РФ

Аннотация

В статье рассмотрена пространственная дискретизация изображения матрицей фото- и киноаппарата. Приведён алгоритм расчёта дискретной освещённости на апертуре отдельных субпикселей, позволяющий наглядно представлять искажения изображения, возникающие в результате пространственной дискретизации. Анализ выполнен на примерах записи формируемого объективом в плоскости светочувствительного слоя матрицы оптического изображения, характеризуемого гармоническими колебаниями освещённости по поверхности изображения.

Ключевые слова: цифровая фотокамера, цифровой киноаппарат, пространственная частотная характеристика, светочувствительная матрица, дискретизация, пространственные искажения, муар.

■ В предыдущем номере журнала «Мир техники кино» опубликована статья [4], в которой выполнено обоснование методики оценки разрешающей способности матрицы фото- и киноаппарата, базирующейся на теории преобразования изображений в кинематографе, введённой в отечественную кинотехническую науку

CONVERSION OF OPTICAL IMAGE WITH PERIODIC ILLUMINANCE CHANGE OF THE FRAME BY PHOTO AND MOVIE CAMERA'S MATRIX

O.Raev, Ph.D, ncenter@list.ru, VGIK, RF

Abstract

The article deals with the spatial image sampling by photo and movie camera's matrix. The article shows an algorithm of calculation of discrete illuminance at the aperture of individual subpixels. The algorithm allows to visualize the image distortion arising from spatial sampling. The analysis is performed with records of optical images formed by the lens in the plane of the matrix light sensor layer. The images characterized by harmonic fluctuations of illuminance on the image surface.

Keywords: digital photo camera, digital movie camera, modulation transfer function, image sensor, sampling, aliasing, moire.

главным образом благодаря трудам Олега Федоровича Гребенникова и последователей его научной школы (основополагающие публикации [1, 2]).

Приведённое в статье [4] математическое описание апертурной характеристики субпикселя и получаемой из апертурной характеристики преобразованием Фурье

пространственной частотной характеристики субпикселя позволяет оценивать разрешающую способность матрицы, т. е. пространственную частоту, при которой коэффициент передачи контраста равен предельному значению, когда контраст ещё различается человеком [1, с. 69, 95], а также искажения изображения, вызываемые пространственной дискретизацией.

В развитие темы сейчас подробно рассмотрен качественный вид и количественный уровень искажений, возникающих в изображении в результате его пространственной дискретизации матрицей при записи фото- и киноаппаратом.

Пространственная дискретизация изображений с периодическим изменением освещённости

Применим систему пространственных координат, лежащую в плоскости светочувствительного слоя матрицы, с центром координат в центре какого-либо рассматриваемого субпикселя и со следующим направлением осей координат: ось x направим через центры горизонтально расположенных субпикселей, ось y – через центры вертикально расположенных субпикселей.

Пусть освещённость $E'_{оп}(x, y)$ в оптическом изображении, формируемом объективом в плоскости светочувствительного слоя матрицы, не зависит от времени и пространственной координаты y и изменяется только вдоль пространственной координаты x по гармоническому закону:

$$E'_{оп}(x) = 0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5, \quad (1)$$

где f_x – пространственная частота изменения освещённости вдоль оси x , соответствующая количеству периодов гармонического изменения освещённости $E'_{оп}(x)$ в изображении, приходящихся на 1 мм вдоль оси x ; φ – фаза колебаний освещённости.

В уравнении (1) учтено, что, во-первых, величина освещённости не может быть отрицательной и, во-вторых, освещённость $E'_{оп}(x)$ следует нормировать таким образом, чтобы все её возможные значения попадали в диапазон от 0 до 1. Именно поэтому в уравнении (1) амплитуда колебаний гармонического сигнала принята равной 0,5 и добавлена постоянная составляющая, также равная 0,5.

Каждый субпиксель может воспринять только те фотоны сигнала изображения, которые пройдут к светочувствительному слою через апертуру данного субпикселя [4]. При поглощении этих фотонов в результате фотоэффекта образуются свободные электроны, собирающиеся в течение времени экспонирования в потенциальной яме субпикселя под действием электрического поля. Количество высвободившихся электронов является электрическим сигналом, характеризующим входную экспозицию на данном субпикселе. Поэтому реальное распределение освещённости по поверхности апертуры рассматриваемого субпикселя, расположенного в центре принятой системы координат, может быть приведено к дискретному значению освещённости E^* :

$$E^* = \frac{1}{l_x^{ан}} \int_{-\frac{l_x^{ан}}{2}}^{\frac{l_x^{ан}}{2}} (0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5) dx, \quad (2)$$

где $l_x^{ан}$ – размер апертуры субпикселя вдоль оси x .

Для остальных субпикселей дискретные значения освещённости определяются аналогичным образом:

$$E^*(n, m) = \frac{1}{l_x^{ан} l_y^{ан}} \int_{-\frac{l_x^{ан}}{2} + n l_{шп}}^{\frac{l_x^{ан}}{2} + n l_{шп}} \int_{-\frac{l_y^{ан}}{2} + m l_{шп}}^{\frac{l_y^{ан}}{2} + m l_{шп}} (0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5) dx dy, \quad (3)$$

где n – номер субпикселя вдоль координатной оси x относительно субпикселя, в котором расположен центр координат и для которого $n=0$; m – номер субпикселя вдоль координатной оси y относительно субпикселя, в котором расположен центр координат и для которого $m=0$; $E^*(n, m)$ – дискретное значение освещённости на входе n -го вдоль оси x и m -го вдоль оси y субпикселя; $l_y^{ан}$ – размер апертуры субпикселя вдоль оси y ; $l_x^{шп}$ – шаг субпикселей вдоль оси x , т. е. расстояние вдоль оси x между центрами двух соседних субпикселей; $l_y^{шп}$ – расстояние вдоль оси y между центрами двух соседних субпикселей.

Поскольку в матрицах для фото- и киноаппаратов апертура субпикселей имеет форму квадрата, то интеграл (3) преобразуется к виду:

$$E^*(n, m) = \frac{1}{(l_{ан})^2} \int_{-\frac{l_{ан}}{2} + n l_{шп}}^{\frac{l_{ан}}{2} + n l_{шп}} \int_{-\frac{l_{ан}}{2} + m l_{шп}}^{\frac{l_{ан}}{2} + m l_{шп}} (0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5) dx dy, \quad (4)$$

где $l_{ан}$ – ширина апертуры субпикселя; $l_{шп}$ – расстояние между центрами двух соседних субпикселей вдоль оси x или y (шаг пикселей).

Таким образом, пространственная дискретизация изображения заключается в усреднении значения освещённости изображения в пределах апертуры каждого субпикселя. На рис. 1 приведён пример оптического изображения, описываемого уравнением (1) с пространственной частотой $f_x=10 \text{ мм}^{-1}$ и фазой $\varphi=0$, и дискретные значения освещённости E^* этого изображения, получаемые при его записи светочувствительной матрицей с шириной апертуры субпикселя $l_{ан}=0,008 \text{ мм}$ и расстоянием между центрами соседних субпикселей $l_{шп}=0,01 \text{ мм}$, а на рис. 2 – расчётный фрагмент записанного изображения.

Анализ интеграла (4) позволяет сделать следующие выводы.

1. Чем больше $f_x l_{шп}$, т. е. чем больше субпикселей на 1 мм матрицы при одной и той же пространственной частоте изменения освещённости в оптическом изображении, тем менее заметна дискретность записанного изображения.

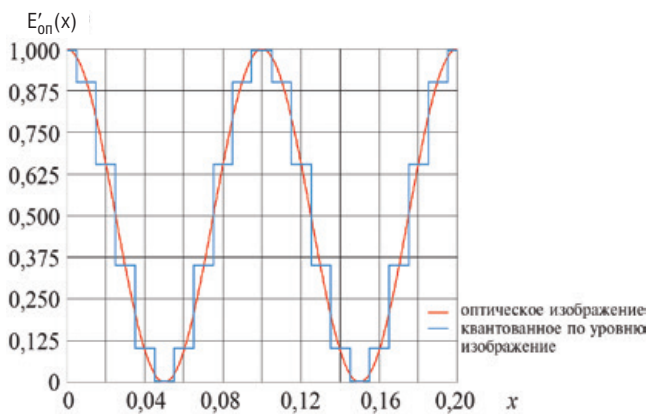


Рис. 1. Оптическое изображение $E'_{on}(x)$ с гармоническим изменением освещённости, пространственной частотой $f_x=10 \text{ мм}^{-1}$ и фазой $\varphi=0$; дискретное изображение E^*

2. Увеличение апертуры субпикселей приводит к снижению контраста в записанном изображении и, соответственно, если $l_{ap} > l_{шп}$ (что может быть реализовано не физически, а математически при обработке цифровых изображений), – к снижению видимой дискретности записанного изображения.

3. При $f_x l_{шп} < 0,5$ фаза φ освещённости в оптическом изображении вызывает соответствующий сдвиг в дискретном изображении вдоль оси x с одновременным изменением дискретных значений освещённости. На рис. 3 показан расчётный фрагмент записанного дискретного изображения, когда ширина апертуры субпикселя $l_{ap}=0,008 \text{ мм}$, расстояние между центрами соседних субпикселей $l_{шп}=0,01 \text{ мм}$, освещённость оптического изображения $E'_{on}(x)$ изменяется с пространственной частотой $f_x=25 \text{ мм}^{-1}$ при двух значениях фазы $\varphi=0$ и $\varphi=\frac{\pi}{4}$.

4. Если $f_x l_{шп} < 0,5$, то минимальная пространственная частота освещённости в дискретном изображении равна пространственной частоте освещённости в оптическом изображении. Если же $f_x l_{шп} > 0,5$, то в дискретном изображении появится ложная пространственная частота изменения освещённости, которая будет меньше пространственной частоты освещённости в оптическом изображении.

5. Для определения периода полного повторения дискретного сигнала, измеряемого в количестве пикселей, необходимо рассчитать пространственную частоту дис-

кретизации $f_d = \frac{1}{l_{шп}}$, затем записать в виде дроби отношение

пространственной частоты дискретизации к пространственной частоте освещённости в оптическом изображении и сократить значения числителя и знаменателя дроби до минимальных целых значений. Полученное значение числителя дроби и будет искомым периодом полного повторения дискретного сигнала, измеряемым в количестве пикселей.

Взаимосвязь дискретных значений освещённости и пространственной частотной характеристики матрицы

Принято (например, [1, с. 65]), что пространственная частотная характеристика – это зависимость коэффициента передачи контраста $K(f_x)$ от пространственной частоты:

$$K(f_x) = \frac{T_{вых}(f_x)}{T_{вх}(f_x)}, \quad (5)$$

где $T_{вх}(f_x)$ – контраст во входном изображении; $T_{вых}(f_x)$ – контраст в выходном изображении.

При анализе преобразований изображения светочувствительной матрицей $T_{вх}(f_x)$ – контраст в оптическом изображении, формируемом объективом в плоскости светочувствительного слоя матрицы, $T_{вых}(f_x)$ – контраст в дискретном изображении, записываемом матрицей.

Контраст в оптическом изображении определяется следующей формулой [1, с. 65]:

$$T_{вх}(f_x) = \frac{E'_{оп \max}(f_x) - E'_{оп \min}(f_x)}{E'_{оп \max}(f_x) + E'_{оп \min}(f_x)}, \quad (6)$$

где $E'_{оп \max}(f_x)$ и $E'_{оп \min}(f_x)$ – соответственно максимальная и минимальная освещённость в оптическом изображении.

Из уравнения (1) следует, что при принятых условиях нормирования освещённости для всех пространственных частот $E'_{оп \max} = 1$, а $E'_{оп \min} = 0$. Следовательно, $T_{вх}(f_x) = 1$.

Для определения $T_{вых}(f_x)$ обратимся к интегралу (4), из которого получаем, что максимальная освещённость $E^*_{\max}(f_x)$ в дискретном изображении будет у субпикселя с



Рис. 2. Расчётный фрагмент записанного дискретного изображения, соответствующего параметрам рис. 1

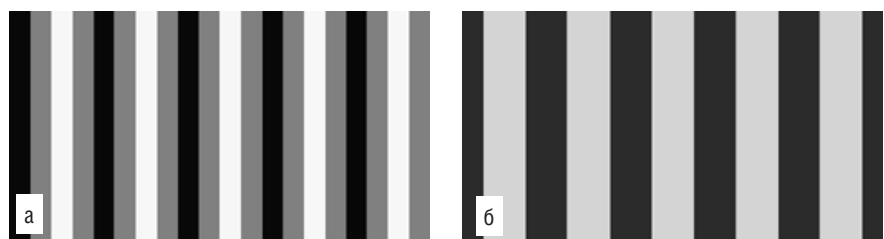


Рис. 3. Дискретное изображение E^* , когда пространственная частота освещённости в оптическом изображении $f_x=25 \text{ мм}^{-1}$ и фаза оптического изображения: а) $\varphi=0$; б) $\varphi=\frac{\pi}{4}$

номером $n=0$ при фазе освещённости в оптическом изображении $\varphi=0$, а минимальная освещённость $E_{\min}^*(f_x)$ в дискретном изображении будет зафиксирована тем же субпикселем при фазе оптического изображения $\varphi=\pi$.

Поэтому коэффициент передачи контраста матрицы определяется следующим образом:

$$K(f_x) = \frac{T_{\text{вых}}(f_x)}{T_{\text{вх}}(f_x)} = T_{\text{вых}}(f_x) = \frac{E_{\max}^*(f_x) - E_{\min}^*(f_x)}{E_{\max}^*(f_x) + E_{\min}^*(f_x)}. \quad (7)$$

Очевидно, что при рассматриваемых исходных условиях максимальное и минимальное значения дискретной освещённости связаны следующей зависимостью:

$$E_{\min}^*(f_x) = 1 - E_{\max}^*(f_x). \quad (8)$$

Подставляя уравнение (8) в (7), получаем, что коэффициент передачи контраста матрицы равен:

$$K(f_x) = 2(E_{\max}^*(f_x) - 0,5). \quad (9)$$

Раскрывая в уравнении (9) значение $E_{\max}^*(f_x)$ из интеграла (4) при $n=0$ и $\varphi=0$ и опуская промежуточные математические действия, получаем:

$$K(f_x) = 2(E_{\max}^*(f_x) - 0,5) = \frac{1}{l_{\text{ап}}} \int_{-\frac{l_{\text{ап}}}{2}}^{\frac{l_{\text{ап}}}{2}} (\cos(2\pi f_x x)) dx = \frac{\sin(\pi f_x l_{\text{ап}})}{\pi f_x l_{\text{ап}}}. \quad (10)$$

Таким образом, результат выполненных преобразований привёл к формуле пространственной частотной характеристики матрицы, полученной в [4], что подтверждает правильность разработанной математической модели.

Специфика записи изображения, освещённость в котором изменяется с пространственной частотой $f_x > \frac{1}{2l_{\text{шп}}}$

Из теории преобразования сигналов изображения (например, [1, 2]) известно, что если не выполняются ограничения пространственных частот в оптическом изображении, сформулированные в теореме В.А. Котельникова, то в спектре освещённости в дискретном изображении появляются ложные низкие пространственные частоты, которых не было в спектре освещённости в исходном оптическом изображении, т.е. возникают искажения первого рода. Величины ложных частот f_x^* определяются следующим образом:

$$f_x^* = f_x - \frac{k}{l_{\text{шп}}}, \quad (11)$$

где k – целое число.

Например, если $\frac{1}{l_{\text{шп}}} = 100 \frac{\text{пикселей}}{\text{мм}}$, а пространственная частота изменения освещённости в оптическом изображении $f_x = 90 \text{ мм}^{-1}$, то пространственная частота в дискретном изображении уменьшится в 9 раз: $f_x^* = 10 \text{ мм}^{-1}$ (рис. 5, рассчитанный при ширине апертуры субпикселя $l_{\text{ап}} = 0,008 \text{ мм}$, расстоянии между центрами соседних субпикселей $l_{\text{шп}} = 0,01 \text{ мм}$, пространственной частоте освещённости оптического изображения $f_x = 90 \text{ мм}^{-1}$ и его фазе $\varphi = 0$). Знак «минус» в f_x^* означает, что направление



Рис. 4. Дискретное изображение E^* , когда пространственная частота освещённости в оптическом изображении $f_x = 50 \text{ мм}^{-1}$ и фаза оптического изображения: а) $\varphi=0$; б) $\varphi = \frac{\pi}{4}$; в) $\varphi = \frac{\pi}{2}$

изменения освещённости в дискретном сигнале меняется на противоположное, однако при косинусоидальном законе изменения освещённости и фазе $\varphi=0$ в дискретном изображении это изменение не проявляется.

Специфика записи изображения, освещённость в котором изменяется с пространственной частотой

$$f_x = \frac{1}{l_{\text{шп}}}$$

Если пространственная частота в спектре освещённости в оптическом изображении равна или в кратное число раз больше частоты $\frac{1}{l_{\text{шп}}}$, то в спектре освещённости в дискретном изображении, в соответствии с уравнением (11), появляется ложная пространственная частота, равная 0. Такое значение пространственной частоты означает, что дискретные значения освещённости на каждом субпикселе будут одинаковыми. При этом величина освещённости в дискретном изображении, одинаковая во всех субпикселях, зависит от ширины апертуры субпикселя и от фазы изменения освещённости в оптическом изображении. Так, например, при $l_{\text{шп}}=0,01$ мм, $l_{\text{ап}}=0,008$ мм и $f_x = \frac{1}{l_{\text{шп}}}$ дискретные освещённости на апертурах субпикселей будут разные в диапазоне от 0,383 до 0,617 в зависимости от величины фазы φ , характеризующей величину сдвига гармонического сигнала оптического изображения относительно линии субпикселей.

Специфика записи изображения, освещённость в котором изменяется с пространственной частотой

$$f_x = \frac{1}{l_{\text{ап}}}$$

Когда пространственная частота изменения освещённости в оптическом изображении равна $\frac{1}{l_{\text{ап}}}$ или кратно

больше этой частоты, освещённость в дискретном изображении на всех субпикселях не зависит от фазы φ и всегда равна 0,5. Это связано с тем, что пространственная частотная характеристика матрицы на этих пространственных частотах, как следует из уравнения (10), равна:

$$\frac{\sin\left(\frac{\pi l_{\text{ап}}}{l_{\text{ап}}}\right)}{\frac{\pi l_{\text{ап}}}{l_{\text{ап}}}} = \frac{\sin(\pi)}{\pi} = 0. \text{ Поэтому хотя ложная пространст-}$$



Рис. 5. Дискретное изображение E^* с ложной пространственной частотой $f_x^* = -10 \text{ мм}^{-1}$

венная частота в дискретном изображении может быть не нулевой: $f_x^* = \frac{1}{l_{\text{ап}}} - \frac{1}{l_{\text{шп}}}$, но коэффициент передачи контраста матрицы при пространственной частоте $\frac{1}{l_{\text{ап}}}$

равен 0, что и приводит в дискретном изображении к утрате информации об исходном гармоническом изменении освещённости изображения с пространственной частотой $\frac{1}{l_{\text{ап}}}$.

Специфика записи изображения, освещённость в котором изменяется с пространственной частотой

$$\frac{1}{l_{\text{ап}}} < f_x < \frac{2}{l_{\text{ап}}}$$

Если в спектре освещённости в оптическом изображении, формируемом объективом в плоскости светочувствительного слоя матрицы, присутствуют пространственные частоты, соответствующие диапазону $\frac{1}{l_{\text{ап}}} < f_x < \frac{2}{l_{\text{ап}}}$ или в общем случае диапазонам $\frac{k}{l_{\text{ап}}} < f_x < \frac{2k}{l_{\text{ап}}}$, то при таких

пространственных частотах коэффициент передачи контраста принимает отрицательные значения (см. уравнение (10)), а это равносильно добавлению к фазе колебаний дискретной освещённости величины π .

В качестве примера в таблице 1 приведены значения дискретных освещённостей для 10 субпикселей с шириной апертуры 0,008 мм, шагом субпикселей 0,01 мм при записи изображения, в котором освещённость изменяется с пространственной частотой 120 мм^{-1} и 130 мм^{-1} , а фаза $\varphi=0$.

В результате пространственной дискретизации изображения, как видно из таблицы 1, исходная пространственная частота 120 мм^{-1} порождает ложную пространственную частоту 20 мм^{-1} (из уравнения (11)). Период полного повторения дискретного сигнала составляет 5 пикселей (соответствует ложной пространственной частоте 20 мм^{-1}). Коэффициент передачи контраста, характеризующий снижение контраста в дискретном изображении, равен 0,042 (из уравнения (10)). Фаза изменения освещённости в дискретном изображении не изменилась (значение дискретной освещённости при $n=0$ максимально, а при $n=1$ меньше).

Если же спектр освещённости в оптическом изображении состоит из пространственной частоты 130 мм^{-1} , то в результате пространственной дискретизации в спек-

Табл. 1. Значения дискретных освещённостей при $l_{\text{шп}}=0,01$ мм, $l_{\text{ап}}=0,08$ мм и $\varphi=0$

f_x	E^*										
	$n=0$	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$	$n=10$
120	0,521	0,505	0,482	0,484	0,508	0,521	0,506	0,483	0,483	0,506	0,521
130	0,481	0,507	0,515	0,484	0,495	0,519	0,493	0,485	0,516	0,505	0,481

ре освещённости получаемого дискретного изображения появляется ложная пространственная частота 30 мм^{-1} . Период полного повторения дискретного сигнала составляет 10 пикселей. Коэффициент передачи контраста равен $-0,038$. В результате фаза колебаний освещённости в дискретном изображении изменилась на величину π : значение дискретной освещённости при $n=0$ минимально, а при $n=1$ – больше.

Поворот оптического изображения с гармоническим изменением освещённости относительно горизонтальных рядов пикселей

Выше рассматривался вариант, когда изменения освещённости в оптическом изображении, формируемом объективом, были направлены строго вдоль оси x , т. е. были ориентированы вдоль горизонтальных рядов пикселей. В реальной практике фото- и киносъёмки обеспечить выполнение этого условия невозможно, да и нет в этом необходимости. При фото- и киносъёмке в подавляющем большинстве случаев направления изменения освещённости в оптическом изображении наклонены относительно рядов пикселей.

Пусть направление изменения освещённости в оптическом изображении, происходящего по гармоническому закону с пространственной частотой $f_{оп}$, повернуто относительно пространственной оси x на угол α . В этом случае интеграл (4) преобразуется к виду:

$$E^*(n, m) = \frac{1}{2l_{ан}} \int_{-\frac{l_{ан}+nl_{шп}}{2}}^{\frac{l_{ан}+nl_{шп}}{2}} \int_{-\frac{l_{ан}+ml_{шп}}{2}}^{\frac{l_{ан}+ml_{шп}}{2}} (0,5 \cos(2\pi f_{оп}x \cos(\alpha) + 2\pi f_{оп}y \sin(\alpha) + \varphi) + 0,5) dx dy. \tag{12}$$

Анализ интеграла (12) позволяет сделать вывод, что при повороте направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей матрицы в дискретном изображении кроме рассмотренных выше искажений в направлении оси x появляются периодические искажения в ортогональном направлении, которые проявляются в периодически расположенных полосах в направлении оси y .

В муаровом узоре, вызванном поворотом направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей, чередуются светлая, тёмная, светлая, тёмная полосы. В этом случае, измеряемое в пикселях расстояние n_m между полосами муара одинаковой яркости (например, светлыми) может быть рассчитано по формуле:

$$n_m = \text{int} \left(\frac{1}{2f_{оп}l_{шп} \text{tg}\alpha} \right), \tag{13}$$

где int – функция выделения целого числа из аргумента $\frac{1}{2f_{оп}l_{шп} \text{tg}\alpha}$.

Очевидно, что муаровые полосы в дискретном изображении будут наиболее чёткими, когда аргумент $\frac{1}{2f_{оп}l_{шп} \text{tg}\alpha}$

равен чётному числу при фазе $\varphi=0$ или $\varphi=\pi$ и нечётному числу при фазе $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi = \frac{3\pi}{2}$.

В случае, когда изменение освещённости в оптическом изображении направлено не вдоль оси x , а вдоль оси y , в дискретном изображении могут появиться горизонтальные муаровые полосы.

Отметим, что при повороте направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно рядов пикселей муаровые полосы в ортогональном направлении появятся даже тогда, когда частота пространственной дискретизации совпадает с пространственной частотой оптического изображения! Хотя, как показано выше, если поворота нет, то при такой пространственной частоте не только муара, но и информации об изменениях освещённости, присутствовавшей в оптическом изображении, в дискретном изображении не будет – в дискретном изображении запишется равномерное серое поле.

В качестве примера рассчитаем дискретное изображение, записываемое матрицей с шириной апертуры субпикселя $l_{ан}=0,008 \text{ мм}$ и расстоянием между центрами соседних субпикселей $l_{шп}=0,01 \text{ мм}$. Пусть освещённость в оптическом изображении изменяется по гармоническому закону с пространственной частотой 50 мм^{-1} , фазой $\varphi=0$ и углом поворота направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей матрицы, равным $\alpha=4,1^\circ$. Тогда из уравнения (13)

получаем, что расстояние между муаровыми полосами в ортогональном направлении равно 14 пикселям.

Повторим, что если бы $\alpha=0$, то дискретное изображение в этом случае имело бы вид, показанный на рис. 4.

Фрагмент дискретного изображения, рассчитанного с помощью интеграла (12) при принятых исходных данных и угле поворота $\alpha=4,1^\circ$, приведён на рис. 6, на котором хорошо видны вертикальные полосы муара.

Поскольку при фото- и киносъёмке в исходных оптических изображениях периодические пространственные элементы освещённости почти всегда искривлены, сдвинуты относительно рядов пикселей, изображены в разном масштабе (пример – платье или костюм в полоску, облегаящие фигуру человека), то в дискретном изображении образуются разнообразные причудливые картины муарового узора.



Рис. 6. Муар при повороте направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей матрицы

При киносъёмке, когда записывают изменяющиеся в размерах или движущиеся относительно кинокамеры объекты съёмки, муаровые узоры будут изменяться во времени.

На рис. 7 приведён пример муара, появившегося в дискретном изображении при киносъёмке актрисы, на которой платье в мелкую полоску. Этот пример подтверждает правильность выполненного в статье анализа процесса пространственной дискретизации изображения матрицей фото- и киноаппарата.



Рис. 7. Фрагмент кинокадра с муаром на платье в мелкую полоску [3]

Заключение

Разработанная методика расчёта дискретных значений освещённости на каждом субпикселе матрицы фото- и киноаппарата является математическим инструментом, позволяющим анализировать преобразования непрерывных оптических изображений объектов съёмки с периодическими изменениями яркости при их записи светочувствительной матрицей. Разработанная математическая модель позволяет рассчитывать дискретные значения освещённости в любом пикселе; пространственные частоты освещённости в дискретном изображении и их фазы; период полного повторения значений освещённости в дискретном сигнале; коэффициент передачи контраста.

Данная методика подтвердила искажения, возникающие в дискретных изображениях объектов съёмки с периодическим изменением яркости:

1. Пространственная дискретизация изображения разрушает непрерывность изменения освещённости, присутствующую в исходном оптическом изображении. При этом разница между значениями освещённости в соседних пикселях существенно зависит от пространственной частоты изменения освещённости в оптическом изображении, шага пикселей, а также от фазы колебаний освещённости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе): учебное пособие для вузов кинематографии. М.: Искусство, 1982. 239 с.
2. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): учебное пособие. СПб.: СПбГУКиТ, 2002. 712 с.
3. Мудренов П.А. Методика определения фотографической разрешающей способности цифрового изображения / Инновационные технологии в кинематографе и образовании: IV международная научно-практическая конференция, Москва, 26–29 сентября 2017 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2017. С. 86–98.
4. Раев О.Н. Разрешающая способность матриц фото- и киноаппаратов / Мир техники кино. 2018. № 2(12). С. 3–8.

2. Если пространственная частота в оптическом изображении превышает $\frac{1}{2l_{\text{шп}}}$, то в спектре дискретного изображения появляются низкие пространственные частоты, которых не было в спектре исходного оптического изображения (пространственные искажения первого рода).

3. Если пространственная частота в оптическом изображении, направление изменений освещённости в котором происходит вдоль центров горизонтальных или вертикальных рядов пикселей, равна $\frac{1}{2l_{\text{шп}}}$, а фаза $\varphi = \frac{\pi}{2}$

или $\varphi = \frac{3\pi}{2}$, то в дискретном изображении пропадает информация об изменениях освещённости. При других значениях фазы информация о периодическом изменении освещённости с частотой $\frac{1}{2l_{\text{шп}}}$ в дискретном сигнале сохраняется.

4. Если пространственная частота в оптическом изображении, направление изменений освещённости в котором происходит вдоль центров горизонтальных или вертикальных рядов пикселей, равна $\frac{1}{l_{\text{шп}}}$ или кратно больше, то при любом значении фазы в дискретном изображении пропадает информация об изменениях освещённости.

5. При пространственной частоте $f_x = \frac{1}{l_{\text{ап}}}$ и кратно больших значениях коэффициент передачи контраста равен нулю, что приводит к потере информации об этих пространственных частотах в дискретном изображении.

Предложенная методика позволяет также рассчитывать муар, который возникает в результате поворота оптического изображения объектов с периодической структурой относительно горизонтальных или вертикальных рядов пикселей матрицы.

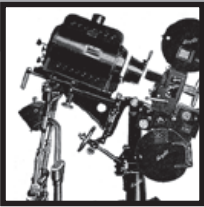
Показано, что этот вид муара в дискретном изображении появляется даже при тех пространственных частотах, при которых в случае отсутствия поворота происходит полная потеря информации об изменениях освещённости.

Автор выражает благодарность В.А. Сычёву за полезные советы по содержанию статьи. ■

Автор выражает благодарность В.А. Сычёву за полезные советы по содержанию статьи. ■

REFERENCES

1. Grebennikov O.F. Osnovy zapisi i vosproizvedeniya izobrazhenii (v kinematografe): uchebnoe posobie dlya vuzov kinematografii. M.: Iskusstvo, 1982. 239 p.
2. Grebennikov O.F., Tikhomirova G.V. Osnovy zapisi i vosproizvedeniya informatsii (v audiovizual'noi tekhnike): uchebnoe posobie. SPb.: SPbGUKiT, 2002. 712 p.
3. Mudrenov P.A. Metodika opredeleniya fotograficheskoi razreshayushchei sposobnosti tsifrovogo izobrazheniya / Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: IV mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 26–29 sentyabrya 2017 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2017. P. 86–98.
4. Raev O.N. Razreshayushchaya sposobnost' matrits foto- i kinoapparatov / Mir tekhniki kino. 2018. No 2(12). P. 3–8.



Непосредственная ЗАПИСЬ ГОЛОГРАММ на металле и пластике



А.Ф. Смык, smykholography@gmail.com, к.т.н., А.В. Шурыгин, магистр, ООО «Джеймс Ривер Бранч», РФ

Аннотация

Получены и описаны результаты записи интерференционных полос в серии экспериментов с плоскими стальными образцами, которые дают наиболее стабильную структуру с высокой дифракционной эффективностью. Экспериментальная установка была построена на 1064 нм высокочастотном импульсном лазере. Из-за порогового характера взаимодействия оказалось необходимо применить устройство формирования профиля пучка. Полученные решётки имеют 275 линий/мм и почти синусоидальный профиль. Мы ожидаем, что данный подход повысит уровень защищённости голографических изображений на запасных частях, стальных компонентах и т.д.

Ключевые слова: голография, прямая гравировка, формирование профиля пучка, π -шейпер, ИК лазер.

Введение

Технология производства современных поверхностно-рельефных голограмм предполагает их изначальную запись на материале, обладающем высокой чувствительностью к используемому излучению. Это может быть светочувствительный материал – для оптических источников, или электронный резист – для электронно-лучевых литографов. После проявки чувствительного материала получают поверхностно-рельефные голографические полосы, при дифракции на которых формируется изображение. Этот рельеф переносится на пластиковую плёнку и применяется в виде самоклеящихся этикеток, фольги горячего тиснения, или ламината, наносимых на защищаемый объект – документ, банкноту, деталь, упаковку.

DIRECT HOLOGRAM RECORDING ON METAL SURFACE

A. Smyk, smykholography@gmail.com, Ph.D, A. Shurygin, master, Russia

Abstract

The results on flat metals was studied and described for a series of experiments with steel that produce most stable structure with high diffraction efficiency. Experimental setup was based on 1064 nm high-frequency pulsed laser. Beam-shaping device looked necessary due to a threshold character of the interaction. The gratings obtained have 275 lines/mm and nearly sine profile. We expect the technique to increase security level of holographic images on spare parts, steel components, etc.

Keywords: holography, direct engraving, beam shaping, π -shaper, IR laser.

При всём удобстве у такой технологической схемы есть существенный недостаток: голограмму можно отделить от объекта, который она призвана защищать. Против этого применяются различные меры, вроде создания этикеток, разрушающихся при попытке снятия, или фольги горячего тиснения, которая представляет собой очень тонкий слой с голографическим рельефом, также сильно затрудняющий снятие. Однако радикально эта проблема не решается в рамках устоявшейся технологии. Разрушаемые этикетки можно снять без разрушения при определённой квалификации, а фольга горячего тиснения не слишком подходит для металлических и некоторых пластиковых поверхностей.

Разумным решением здесь было бы формирование голограммы прямо на поверхности защищаемого изделия:

запчасти, микросхемы или сменного картриджа. Помимо решения основной проблемы с неотделимостью объекта от его защитного элемента, можно было бы попутно делать каждую голограмму индивидуальной. Это, в качестве дополнительного эффекта, делало бы бессмысленным прямое копирование открытого рельефа голограммы. Устройство для записи таких голограмм могло бы быть построено по схеме интерференционного или, менее вероятно, проекционного дот-матрикса [1].

Ключевым вопросом в построении таких систем является взаимодействие с поверхностью объекта, характер протекающих при этом процессов. Изучению их для различных энергий, длин волн и материалов посвящено множество работ, например [1–6]. В большинстве работ предполагается, что в максимумах интерференционной картины происходит абляция, то есть испарение вещества с поверхности. Поскольку для адекватного восприятия голограммы период голографических решёток должен составлять величину порядка 1–4 мкм, нагрев поверхности в максимумах интерференционной картины должен быть кратковременным. Попробуем оценить, какими должны быть параметры записи.

Запись гауссовым пучком

Считается, что скорость испарения металла приблизительно равна местной скорости звука [8]. Это позволяет сделать оценку требуемой длительности импульса. В схемах с интерференцией на поверхности формируется система полос синусоидального профиля (рис. 1). В максимумах воздействие на материал наиболее силь-

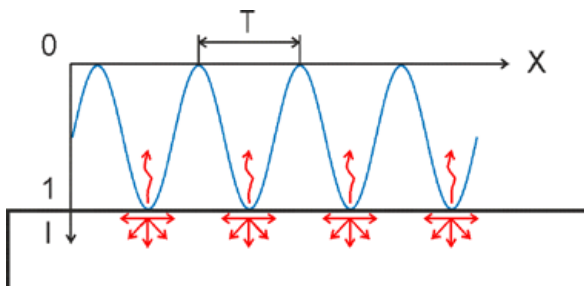


Рис. 1. Схема тепловых потоков при проекции интерференционных полос

ное, в минимумах оно слабее. Различия и приводят к образованию рельефа, соответствующего картине полос. Однако тепловое воздействие выравняется за счёт теплопроводности материала. Важно, чтобы к моменту выравнивания температуры между максимумами различие в температурах проявилось в различии в рельефах. Лучше, чтобы физический механизм формирования рельефа под действие нагрева имел пороговый характер, то есть, до определённого уровня энергии рельеф не изменялся вовсе, а затем начинался скачкообразный процесс его нарастания. Таким пороговым характером отличается лазерная абляция [9], довольно сложный процесс, сопровождающийся как уносом вещества с поверхности (в результате образуется кратер), так и изменением структуры поверхности, в некоторых случаях – формированием выпуклого рельефа на поверхности.

Скорость звука в металлах – порядка 5000–6000 м/сек, в пластиках – 2000–3000 м/сек [10]. Если принять период интерференционной картины равным 10 мкм, то расстояние от самой нагреваемой до самой холодной точки, расположенной в минимуме, импульс тепла в металле пройдёт за 1 нс, что, по-видимому, и можно считать величиной, близкой к верхней границе длительности импульса. При этом не учитывается снижение плотности тепловой энергии за счёт рассеяния её вглубь материала.

Для подбора режимов экспозиции использовалась оптическая схема интерферометра Рэлея, несколько модифицированная для выравнивания разности хода в плечах и для изменения периода полос (рис. 2).

В этой схеме излучение импульсного волоконного лазера разделялось на две ветви равной интенсивности и выравнивалось по оптическому пути с помощью подвижного блока зеркал. Для объединения пучков использовался один объектив, фокальное пятно при этом составляло около 65 мкм. Варьирование периода полос осуществлялось подвижной бипризмой, сводящей в параллель ветви схемы. Распределение интенсивности в плоскости пятна показано на рис. 3 сверху (а), снизу – фото пятна, получающегося на пластиковой плёнке (б).

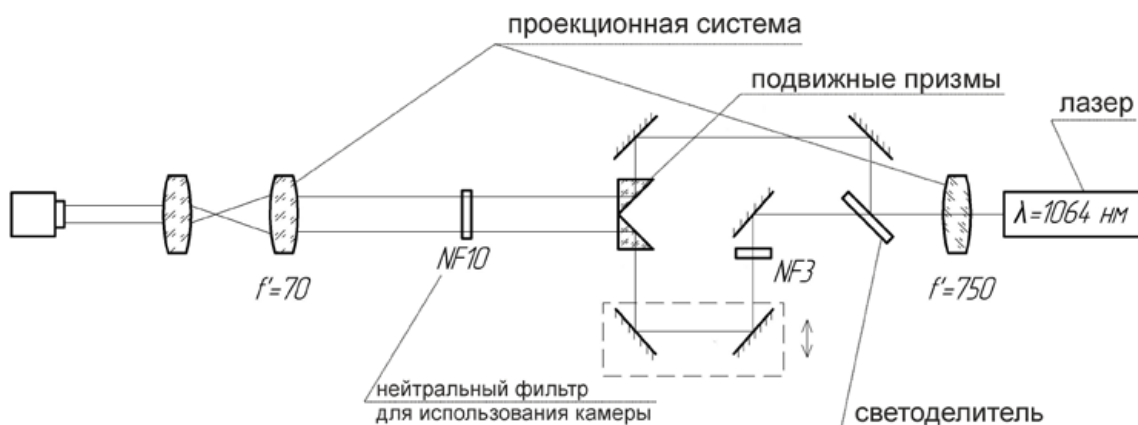


Рис. 2. Схема с гауссовым пучком

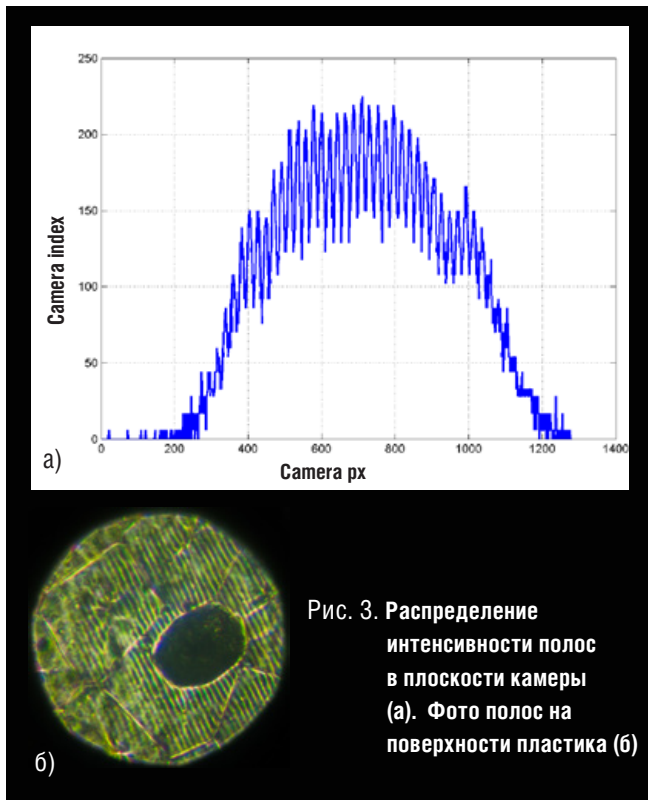


Рис. 3. Распределение интенсивности полос в плоскости камеры (а). Фото полос на поверхности пластика (б)

Процесс оказался очень чувствителен к режимам записи. Интересующую нас структуру из интерференционных полос сложно получить без повреждения центральной части пятна, которое представляет собой окружность меньшего диаметра. На фото видно центральное чёрное пятно – выжженная часть, при определённых условиях освещения внутри неё также можно обнаружить структуры с той же частотой, что и во внешней части пятна. Это означает необходимость выравнивания интенсивности по площади пятна. Большое значение также имеет кон-

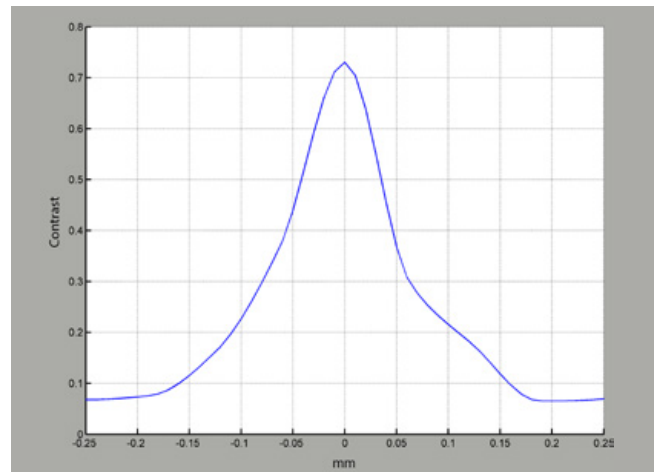


Рис. 4. Контраст интерференционной картины на матрице камеры вблизи нулевой разности хода

траст интерференционной картины, который максимален при нулевой разности хода в плечах. На рис. 4 приведён график значений контраста на фотоприёмнике от разности хода. Максимального контраста 0,75 удалось достичь в районе нулевой разности хода с отклонением не более чем ± 50 мкм.

Запись пучком с однородным распределением

С учётом полученных результатов схема была модифицирована с добавлением π -шейпера [11] (на рис. 5 обозначен символом π); перед ним установлен расширитель пучка BE для удовлетворения требований по входному диаметру пучка, а также для прямого контроля интерференционной картины и однородности пятна с помощью камеры (обозначена на рисунке CCD). Добавлен также поворот пары интерферирующих пучков для изменения азимута полос с помощью призмы Дове (DP) – рис. 5.

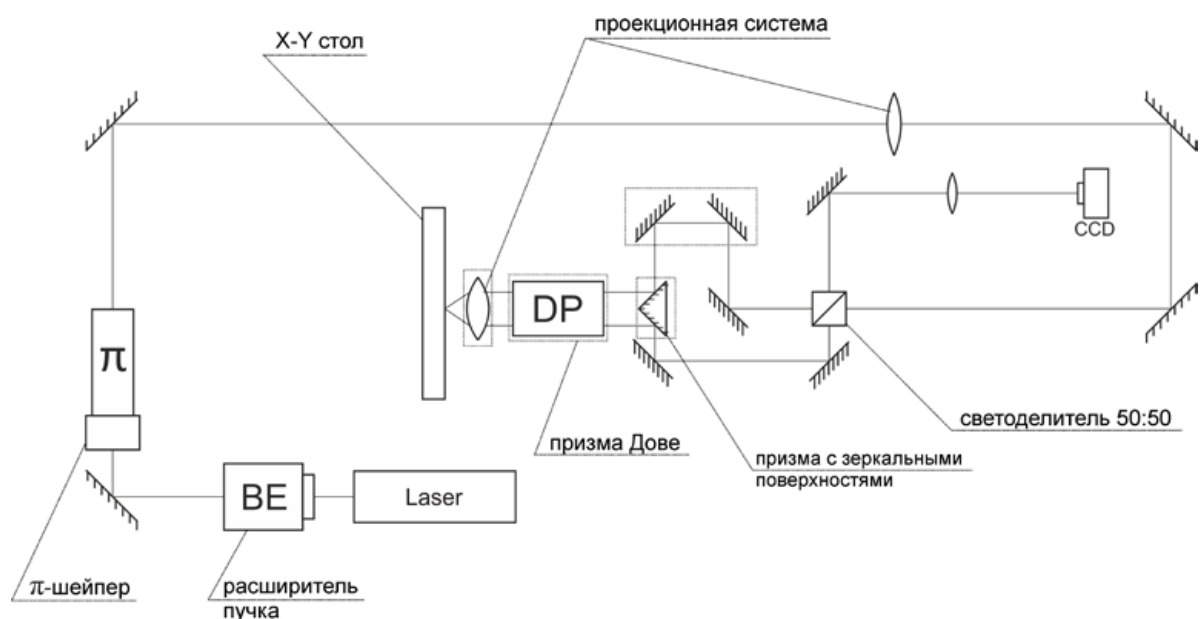


Рис. 5. Схема прибора с π -шейпером

Корректная настройка π -шейпера позволила достаточно точно выровнять интенсивность и повысить контраст полос. На рис. 6 приведён результат сведения двух пучков на матрице профайлера. При настройке однородности и контраста была установлена минимальная частота полос.

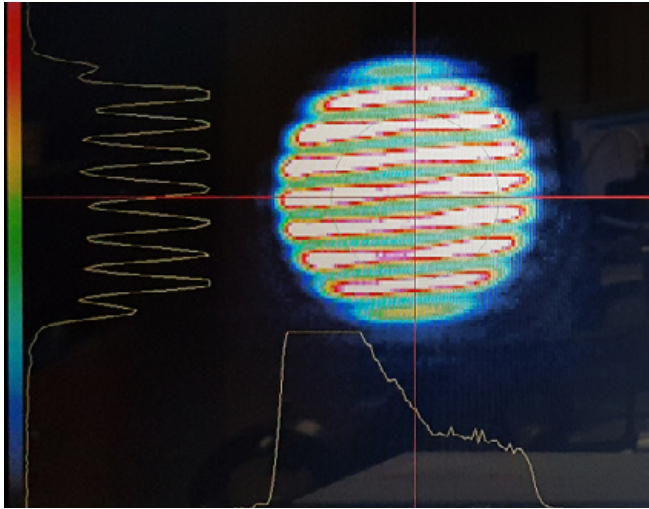


Рис. 6. Интерференционные полосы на камере после применения π -шейпера

Визуально пучок казался равномерным, однако для записи на металле требования к однородности оказались очень высокими. На однородность оказывают наибольшее влияние два фактора: распределение на выходе π -шейпера, вид которого для наиболее успешных тестов приведён на рис. 8, и точность фокусировки на поверхности материала. Последнее оказало существенное влияние на результаты записи, так как при отклонении от оптимальной плоскости распределение энергии в пучке быстро перестаёт быть равномерным [12].

То есть, запись на реальном материале требует не только тщательного выравнивания профиля пучка, но и контроля рабочего расстояния между объективом и материалом. На рис. 7 представлены результаты записи при расфокусировке в обе стороны от оптимума, а также при лёгком наклоне π -шейпера.

Результаты записи на металле при устранении всех неточностей приведены на рис. 8. Частота полученных полос составила 275 линий/мм. При этом

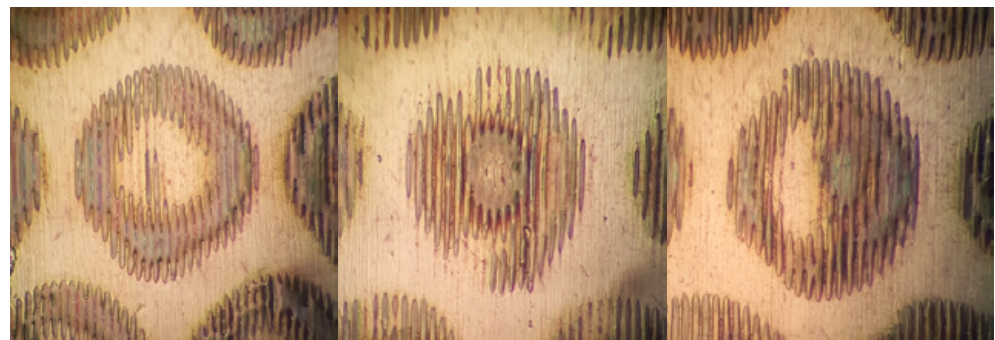


Рис. 7. Влияние неравномерности мощности внутри пятна на результат записи

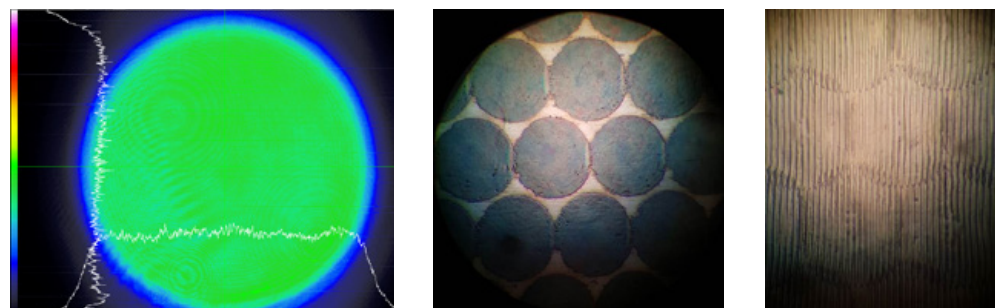


Рис. 8. Результат записи однородным пучком на металле

высота профиля достигает 450 нм, а сам он близок к синусоидальному. При освещении коллимированным пучком интенсивности в первом (1) и -первом (-1) порядках почти равны интенсивности в нулевом порядке (рис. 11).

Фото голограммы приведено на рис. 9. Заметна хорошая однородность картинка. Любопытно, что поверх-

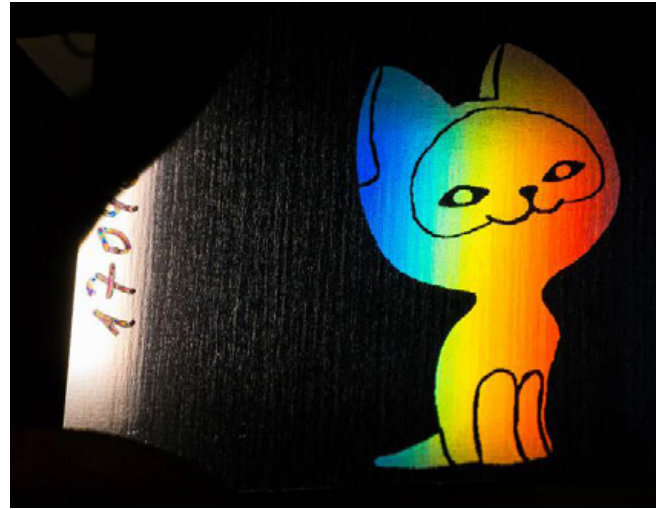


Рис. 9. Фото голограммы на нержавеющей стали

ность металла была зеркальная, но далеко не оптического качества. Возможно, именно некоторая шероховатость поверхности и обусловила возможность формирования полос, стимулируя структурные изменения в зоне абляции.

Рис. 10 представляет результаты измерения профиля полос с помощью атомно-силового микроскопа. Заметно некоторое отличие профиля от синусоидального, что

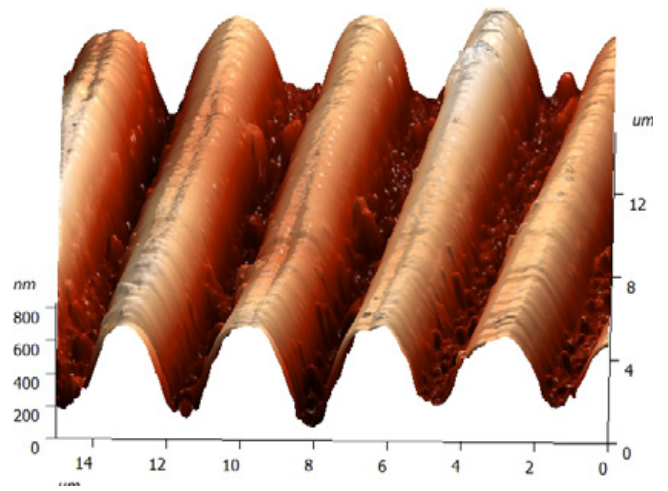
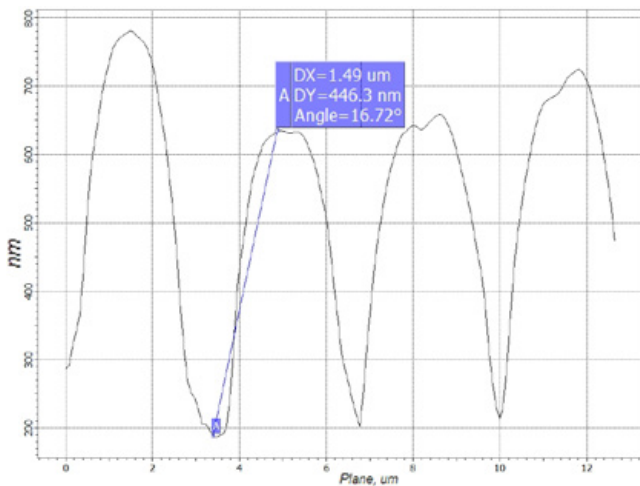


Рис. 10. Результаты измерения профиля полос с помощью атомно-силового микроскопа

влияет на дифракционную эффективность. Для оценки влияния формы профиля были измерены мощности в порядках.

На рис. 11 показаны нулевой и первые порядки дифракции на полученном рельефе. Экспериментальные данные получены при использовании лазерного диода с коллимированным пучком с длиной волны $\lambda=650$ нм.

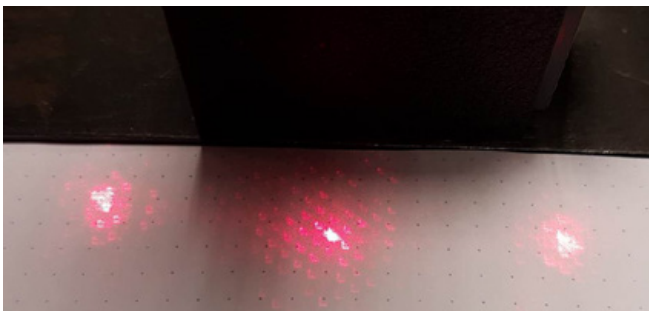


Рис. 11. Нулевой и первые порядки дифракции при освещении коллимированным пучком

Мощность 0-го порядка – 240 μ W

Мощность 1-го порядка – 220 μ W

Мощность 2-го порядка – 40 μ W

Тогда соотношения мощностей 1-го и 2-го пучков к нулевому следующие:

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right)_{\text{эсп}} = 0.917$$

$$\left(\frac{P_2}{P_0}\right)_{\text{эсп}} = 0.167$$

При использовании модели синусоидальной фазовой дифракционной решётки:

$$H = \exp\left\{i \frac{\pi}{2} \cdot K \cdot \sin(2\pi x)\right\}$$

где K – амплитуда синусоиды:

$$K = \frac{h_y}{\lambda}$$

h_y – глубина полученного профиля.

По результатам измерений, в зависимости от качества записи, глубина профиля варьируется от 300 нм на менее удачных областях до 590 нм в прочих.

Для $h_y=585$ нм получаем:

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right)_{\text{теор}} = 0.916$$

$$\left(\frac{P_2}{P_0}\right)_{\text{теор}} = 0.125$$

На рис. 12 приведено графическое сопоставление мощностей в двух первых порядках дифракции для образца и математической модели.

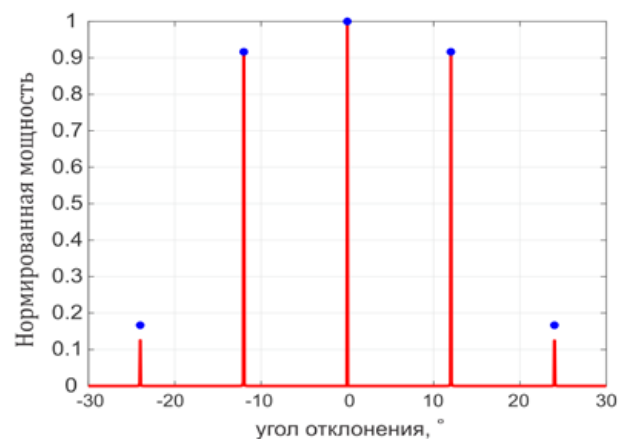


Рис. 12. Пространственные спектры: красный – математическая модель, синий – эксперимент

Как видно из численных соотношений мощностей в порядках и рис. 12, профили полос довольно близки к синусоидальным, искажение формы проявляется в 25% росте вторых порядков.

Заключение

Удалось осуществить прямую запись на металле и пластике. Достигнуты частоты – 275 л/мм и глубины рельефов, близкие к оптимальным. Лучшее разделение цветов, обычно требуемое в радужной голографии, может

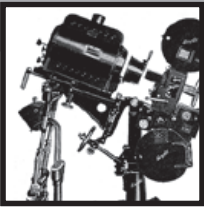
быть достигнуто увеличением частоты записи. Однако, для небольших голограмм достигнутые параметры приемы, и система записи может рассматриваться как прототип системы прямой записи голограмм на поверхности изделий. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Смык А.Ф., Шурьгин А.В. Асимметричные профили в поверхностно-рельефных голограммах. Мир техники кино – 2018–1(12). С. 23–30.
2. Lasagni A.F. "Laser interferenz strukturierung Hochprazise bei Hochstgeschwindigkeit. Laser in Elektronik produktion&Feinwerktechnik," Seminar LEF, 232-245 (2015).
3. Takahashi H., Hasegawa S., Hayasaki Y. "Holographic femtosecond laser processing using optimal-rotation-angle method with compensation of spatial frequency response of liquid crystal spatial light modulator," Applied Optics46(23), 5917-5923 (2007).
4. Hermann J., Noël S., Itina T.E., Axente E., Povarnitsyn M.E. "Correlation between ablation efficiency and nanoparticle generation during the short-pulse laser ablation of metals", Laser Physics, 18(4), 374–379 (2008).
5. Kuang Z., Liu D., Perrie W., Cheng J., Edwardson S.P., Dearden G., Watkins K.G. "Fast parallel diffractive multi-beam laser surface micro-structuring", Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, 469–472 (2010).
6. Кунце Т., Роч Т., Гофман Т., Федына Е., Коновалов В., Ульянов Д., Лазани А. Прецизионная прямая лазерная интерференционная гравировка с помощью высокоэнергетических лазеров с модуляцией добротности. Фотоника № 5. – 53. – 2015. – С. 34–39.
7. Lasagni A.F., Roch T., Berger J., Kunze T., Lang V., Beyer E. "To use or not to use (direct laser interference patterning), that is the question". Proc. SPIE 9351, Laser-based Micro- and Nanoprocessing IX, Paper 935115 (2015).
8. Моисеев К.В., Кузенов В.В. Одномерное численное моделирование распространения тепловых потоков в различных металлических преградах. –www.chemphys.edu.ru/pdf/2008-09-01-042.pdf (1 сентября 2008).
9. Таблицы физических величин. Справочник. – Под ред. акад. Кикоина И.К. – М., Атомиздат. –1976. – 1008 с.
10. Anisimov S.I., Lukyanchuk B.S. "Selected problems in the theory of laser ablation". Successes of physical sciences, 127, 301 (2002).
11. Laskin A., Laskin V., Ostrun A. "Refractive beam shapers for optical systems of lasers". Proc. SPIE 9346, 93460R (2015).
12. Laskin A., Juzumas V., Urnie ius A., Laskin V., Iekys G., Ostrun A. "Building beam shaping optics for micromachining". Proc. SPIE 9346, 934615 (2015).

REFERENCES

1. Smyk, A., Shurygin, A., "Symmetric profiles in surface-relief holograms," World of Technique of Cinema, 2018–1(12). С. 23–30.
2. Lasagni, A.F., "Laser interferenz strukturierung Hochprazise bei Hochstgeschwindigkeit. Laser in Elektronikproduktion & Feinwerktechnik," Seminar LEF, 232–245 (2015).
3. Takahashi, H., Hasegawa, S., Hayasaki, Y., "Holographic femtosecond laser processing using optimal-rotation-angle method with compensation of spatial frequency response of liquid crystal spatial light modulator," Applied Optics46(23), 5917-5923 (2007).
4. Hermann, J., Noël, S., Itina, T.E., Axente, E., Povarnitsyn, M.E., "Correlation between ablation efficiency and nanoparticle generation during the short-pulse laser ablation of metals," Laser Physics, 18(4), 374–379 (2008).
5. Kuang, Z., Liu, D., Perrie, W., Cheng, J., Edwardson, S.P., Dearden, G., Watkins, K.G., "Fast parallel diffractive multi-beam laser surface micro-structuring," Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, 469–472 (2010).
6. Kunze, T., Roch, T., Gofman, T., Fedyna, E., Konovalov, V., Ulyanov, D., Lazagni, A., "Precision direct laser interference with high-power Q-switched lasers," Photonics, 5(53), 34–39 (2015).
7. Lasagni, A.F., Roch, T., Berger, J., Kunze, T., Lang, V., Beyer, E., "To use or not to use (direct laser interference patterning), that is the question," Proc. SPIE 9351, Laser-based Micro- and Nanoprocessing IX, Paper 935115 (2015).
8. Moiseev, K.V., Kuzenov, V.V., "One-dimensional numerical simulation of the propagation of heat flows in various metallic barriers," Slate, 1 September 2008, <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2008-09-01-042.pdf> (1 September 2008).
9. Anisimov, S.I., Lukyanchuk, B.S., "Selected problems in the theory of laser ablation," Successes of physical sciences, 127, 301 (2002).
10. [Tables of physical quantities], Handbook, ed. acad. Kikoin, I.K., Atomizdat, Moscow, 1008 (1976).
11. Laskin, A., Laskin, V., Ostrun, A., "Refractive beam shapers for optical systems of lasers," Proc. SPIE 9346, Paper 93460R (2015).
12. Laskin, A., Juzumas, V., Urnie ius, A., Laskin, V., Iekys, G., Ostrun, A., "Building beam shaping optics for micromachining," Proc. SPIE 9346, Paper 934615 (2015).



Развитие и технический анализ современных остронаправленных ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МИКРОФОНОВ



А.О. Субботкин, subov-an@yandex.ru, м.н.с., Научный центр волновых исследований института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (НЦВИ ИОФ РАН); Ш.Я. Вахитов, профессор, д.т.н., Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», РФ

Аннотация

В работе рассмотрены некоторые особенности конструкций современных интерференционных микрофонов и предшествующий вариант т.н. «органной» конструкции. Представлен технический обзор современных промышленных образцов остронаправленных интерференционных микрофонов типа «пушка».

Ключевые слова: электроакустика, микрофоны, преобразователи, звукотехника, история науки.

DEVELOPMENT AND TECHNICAL ANALYSIS OF THE MODERN NARROW-ANGLE DIRECTIONAL INTERFERENCE MICROPHONES

A. Subbotkin, subov-an@yandex.ru, Junior Research Fellow, Wave Research Center at A.M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences (GPI RAS); Sh. Vakhitov, Professor, D.Sc. in Engineering, St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Russia

Abstract

Some peculiarities of designs of modern interference microphones and preceding multitube microphone are considered in paper. Presents the technical analysis of modern industrial designs narrow-angle directional interference microphone "shotgun" type.

Keywords: *electroacoustic, microphones, transducers, audiotecnica, history of science.*

■ Введение

Остронаправленные интерференционные микрофоны применяются для решения задач в сфере звукозаписи, акустических измерений, а также в некоторых других сферах, при необходимости приёма звука с высоким индексом направленности. Часто встречается альтернатив-

ное название такого типа микрофонов – микрофон-пушка, происходящее от английского названия «shotgun» этих микрофонов.

Наиболее широкое применение интерференционные микрофоны нашли в сфере звукозаписи на телевидении. Их используют при трансляции практически любых видов

спортивных соревнований, во время записи студийных телепередач. Например, в киносъёмочных павильонах Мосфильма при записи телепрограмм с присутствием зрителей для «озвучки» аудитории применяют интерференционные микрофоны производства Sennheiser. Интерференционные микрофоны широко используются во время натуральных природных съёмок. Реже их используют в целях профессиональной студийной звукозаписи. Хорошо известно, что остронаправленные микрофоны применяются и в специальных целях различными силовыми службами.

Первые интерференционные микрофоны появились в 1930-х годах. Микрофоны были реализованы через так называемую «органную» конструкцию. Современный вариант конструкции с одной трубкой появился в конце 50-х – начале 60-х годов. Сегодня на отечественном рынке интерференционные микрофоны предлагают не менее девяти производителей с общей номенклатурой более чем в 50 моделей.

Первые остронаправленные микрофоны.

Конструкции «органного» типа

Одна из первых конструкций микрофона со сверхнаправленностью была реализована WesternElectric-Company (США) в модели 618А [1]. Микрофон (рис. 1) состоял из 50 алюминиевых трубок диаметром 3/8 дюйма (9,52 мм) длиной от 3 до 150 см, из-за чего получил название «tubulardirectionalmicrophone» или «multi-tubedirectionalmicrophone». В отечественной литературе, из-за характерной конструкции, устоялось название – трубчатый микрофон или микрофон «органного» типа. Вес микрофона составлял порядка 2,5 фунтов (около 1,13 кг). Трубки соединялись в объёме предметной камеры. Фотографии таких микрофонов представлены на рис. 2. и рис. 3.

Характеристика чувствительности микрофонов «органного» типа имела ярко выраженный характер, возникавший вследствие интерференционных процессов внутри подводящих трубок. Хотя в некоторых моделях и была осуществлена идея согласования общего волнового сопротивления направляющего звуковода с входным сопротивлением микрофонного капсюля [4], таким способом удавалось устранить интерференцию лишь для осевого падения звука [4].

В конструкции, схематично изображённой на рис. 4, для исключения интерференционных процессов внутри подводящих трубок их входные отверстия нагружались специально подобранным акустическим сопротивлением, равным волновому сопротивлению трубки. В экспериментах, проведённых группой советских акустиков в связи с задачей звукоусиления с движущихся автомобилей (Красная площадь, г. Москва) [4], было установлено, что при рациональном выборе величины акустического сопротивления, длины подводящих трубок, габаритов предметной камеры, в определённом диапазоне частот удаётся достигнуть почти полного поглощения

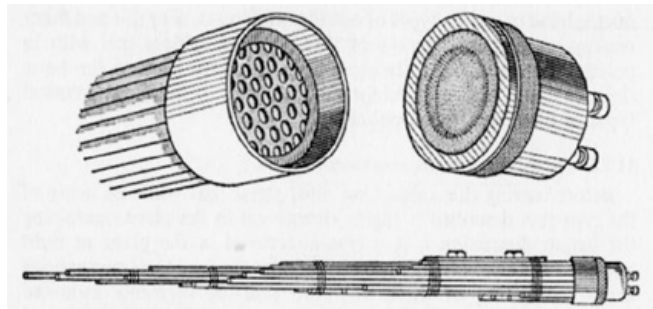


Рис. 1. Микрофон «органного» типа, разработанный WesternElectricCompany (иллюстрация из [2])

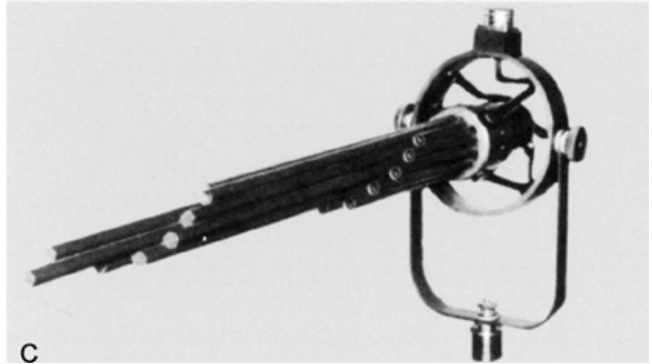


Рис. 2. Микрофон, разработанный Г. Ольсоном (H. Olson), 1957 год (иллюстрация из [3])



Рис. 3. Применение «органного» микрофона для звукозаписи во время телевизионной трансляции парада Американского Легиона в Нью-Йорке (США). Крыша шестого этажа здания EmpireState, вид на 5 авеню, 1937 год (иллюстрация из [1])

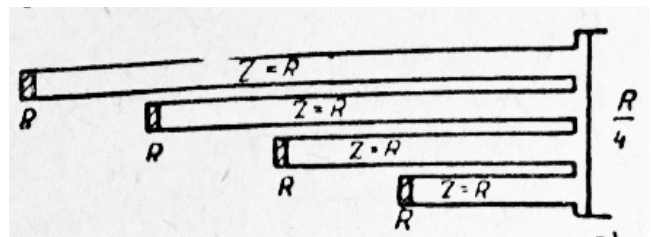


Рис. 4. Вариант конструкции микрофона «органного» типа с акустической нагрузкой на входах трубок (иллюстрация из [4])

обратной волны, отражённой от мембраны капсуля. В упомянутом эксперименте использовались телефонные капсули ТА-4 и ТД-6.

Применялось конструктивное решение (схематично изображено на рис. 5), в котором вместо пучка трубок разной длины применялся один общий ступенчатый направляющий звуковод. Однако такая конструкция по принципу работы ничем не отличалась от решения, описанного выше (рис. 4).

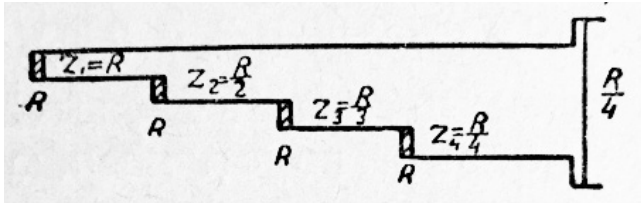


Рис. 5. Вариант конструкции микрофона «органного» типа со ступенчатым направляющим звуководом и акустической нагрузкой на входах (иллюстрация из [4])

Конструкции первых образцов интерференционных микрофонов

На следующем этапе развития конструктивного решения остронаправленных микрофонов, вместо ступенчатого звуковода использовался звуковод с непрерывно расширяющимся сечением (рис. 6, рис. 7). Конечное число входных звукоприёмных отверстий заменяется сплошной продольной щелью, заделанной акустическим материалом (типа древесно-волокнутой ленты, пропитанной силиконовым лаком), поглощающим отражённые волны (по мнению автора [4]). «Акустически жёсткий вкладыш в трубке рассчитан так, чтобы сечение её «в свету» возрастало к преобразующему элементу по линейному закону» (цитата из [4]).

Дальнейшее конструктивное развитие остронаправленных микрофонов [4] схематично представлено на рис. 6. Конструкция имеет постоянное сечение по всей

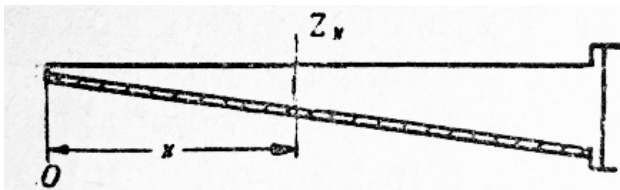


Рис. 6. Вариант конструкции остронаправленного микрофона с трубкой непрерывно расширяющегося сечения и непрерывной щелью (иллюстрация из [4])

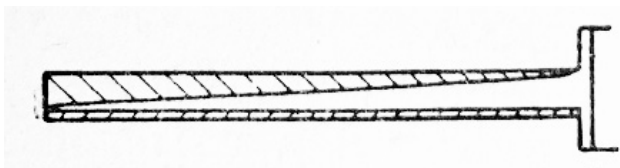


Рис. 7. Акустически жёсткий вкладыш конструкции с трубкой непрерывно расширяющегося сечения (иллюстрация из [4])

длине, но непрерывно возрастающее сопротивление (закон возрастания сопротивления) подбирался эмпирически, за исключением входного «мундштука», на котором акустическое сопротивление остаётся постоянным. Для «сглаживания» частотной характеристики и увеличения чувствительности на верхних частотах, поверх щели размещались поперечные ребра [4].

Ещё один вариант [4] конструктивного решения микрофона изображён на рис. 9. Характерным свойством направленных микрофонов (в особенности, остронаправленных) является увеличение индекса направленности с ростом частоты, т.н. самозаострение. В конструкции используется система акустических нижнечастотных фильтров, что приводит к потере чувствительности в осевом направлении микрофона.

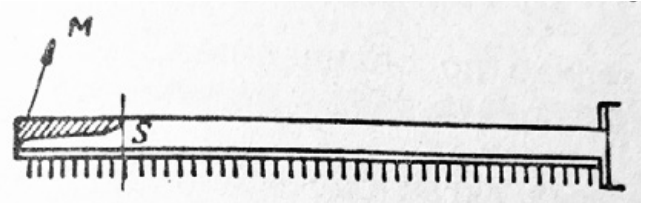


Рис. 8. Вариант конструкции остронаправленного микрофона постоянного сечения с входным вкладышем (иллюстрация из [4])

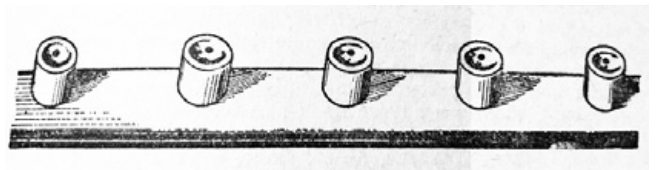


Рис. 9. Вариант конструкции остронаправленного микрофона с системой нижнечастотных акустических фильтров (иллюстрация из [4])

Как следует из анализа конструктивных схем, «органный» вариант конструкции был заменён на аналогичный по принципу работы, но более компактный и простой в реализации вариант с единственной трубкой (singletubemicrophone), имеющей перфорации по всей своей длине (рис. 10). Такой вариант конструкции по принципу работы получил название остронаправленного микрофона интерференционного типа, или микрофона «бегущей волны», при этом перфорированная трубка называется интерференционной антенной. В специализированной литературе в области звукозаписи можно встретить другой вариант названия – микрофон «пушка» (от англ. shotgun), такое название, очевидно, связано с внешним видом современных моделей.

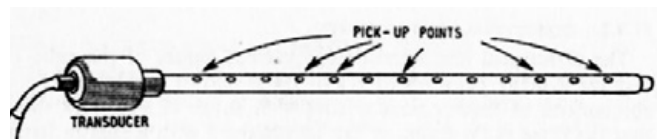


Рис. 10. Интерференционный микрофон с одной трубкой, 1963 год (иллюстрация из [2])

Особенности конструкции современного интерференционного микрофона и краткий обзор промышленных образцов

Современная конструкция остронаправленного микрофона интерференционного типа реализуется с помощью одной перфорированной трубки постоянного диаметра (интерференционной антенны). Вид современного интерференционного микрофона представлен на рис. 11. Шаг перфорации, как правило, остаётся постоянным на протяжении всей длины антенны. Перфорации трубки могут быть выполнены как в один ряд, так и в несколько, для исключения осевой асимметрии. Обычно используются направленные капсулы, хотя встречаются и модели с ненаправленными. Иногда дискретные перфорации (акустические входы антенны) заменяют на непрерывную щель, что делает невозможным формирование боковых «лепестков» характеристики направленности, равных основному.

Важной особенностью реализации акустических входов является дополнительное активное акустическое сопротивление нагрузки, чаще всего выполненное в виде наклеенной ткани на перфорации, обычно это шёлк. Внутри самой антенны иногда располагают дополнительное акустическое сопротивление, выполненное, например, в виде небольшой пробки из поролон. Её функциональное назначение – сглаживание резонансной характеристики. За счёт поглощения обратной волны в интерференционной антенне. Такое решение приводит к снижению чувствительности.

Интерференционная антенна выполнена отдельно от внешнего корпуса микрофона, который выполняет функции механической защиты. Под поперечные щели внешней трубки и её торец монтируется металлическая сетка, дополнительно выполняющая функции защиты от внешних электрических наводок.



Рис. 11. Вид современного интерференционного микрофона Beyerdynamic MCE85

На сегодняшний день на отечественном рынке представлен один отечественный (Неватон) и не менее восьми известных зарубежных производителей интерференционных микрофонов с общей номенклатурой более чем в 50 моделей, среди которых: AKG (Австрия), Sennheiser (Германия), Audio-Technica (Япония), DPA (Дания), Neumann (Германия) и другие. Полный перечень рассмотренных нами моделей представлен в таблице 2. Для каждого из рассмотренных микрофонов на сайте компании-производителя представлены информационные буклеты с некоторыми техническими характеристиками, которые и используются в настоящей статье. Для моделей Sennheiser МКН 8060, МКН 8070 данные взяты из [5], для моделей Неватон МК 401 – из [6]. Опираясь на представленную информацию, проведём краткий обзор современных промышленных образцов.

Согласно технической документации (ТД), производители предлагают модели интерференционных микрофонов длиной от 97 до 560 мм, при этом подавляющее большинство моделей имеют длину менее 300 мм. Общая длина микрофона приводится без отдельного уточнения длины интерференционной антенны, хотя длина антенны может составлять только до половины от общей длины микрофона. Также представлены модели с возможностью увеличения длины интерференционной антенны путём присоединения дополнительной секции (Shure серии VP 89, AKG CK69-ULS).

Главной функциональной особенностью интерференционных микрофонов, очевидно, является острая характеристика направленности (ХН), что и вызывает основной интерес. Направленность интерференционного микрофона в сильной степени зависит от частоты. В частотном диапазоне (ЧД) эффективного однонаправленного приёма, нижняя граничная частота которого зависит от длины антенны H (в данном ЧД коэффициент направленности должен удовлетворять условию $\Omega > 4$, что соответствует индексу направленности $l > 6$ дБ), форму ХН часто называют «лепесток» ввиду характерных очертаний. Ниже этого ЧД направленные свойства микрофона преимущественно определяются капсулом, почему в основном и используют именно капсулы направленные. Согласно существующей теории интерференционных микрофонов, значительное обострение ХН начинается с частот, длины волн λ которых удовлетворяют условию $H \geq \lambda/2$, а формирование основного «лепестка» начинается при $H \geq \lambda$. Соответствующий расчёт частот начала обострения ХН (по формулам 1.1 и 1.2) представлен в табл. 1.

$$f = \frac{C_0}{2H} \quad (1.1)$$

$$f = \frac{C_0}{H} \quad (1.2)$$

где f – частота, Гц; C_0 – скорость звука, м/с; H – длина интерференционной антенны, м.

Табл. 1. Зависимость частоты начала обострения ХН интерференционного микрофона от длины антенны

Длина интерференционной антенны H , м	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00
Начало обострения ХН $H \geq \lambda/2$ Частота f , Гц	1700	850	567	425	340	227	170
Формирование основного «лепестка» ХН $H \geq \lambda$ Частота f , Гц	3400	1700	1133	850	680	453	340

В силу изложенного, описывать интерференционный микрофон каким-то одним характерным типом ХН, как

это обычно принято, малоинформативно без указания ЧД, о котором идёт речь. Чаще всего приводятся диаграммы направленности $R(\theta)$ на разных частотах (обычно не менее четырёх), что и представлено в ТД для большей части рассматриваемых моделей (почти для всех, кроме моделей производителей DPA и Неватон). Наиболее характерные диаграммы направленности $R(\theta)$ представлены на рис. 12–17. Ещё одним, на наш взгляд, удачным способом представления направленных свойств микрофона в широком диапазоне частот является частотная характеристика $\Omega(f)$ или $I(f)$. Однако из всех рассмотренных моделей микрофонов таким способом описаны направленные свойства только модели AKG CK 69-ULS (рис. 12) с возможностью изменения длины интерференционной антенны. Напомним, что коэффициент направленности для кардиоиды $\Omega=3$, для суперкардиоиды $\Omega=3,8$, для гиперкардиоиды $\Omega=4$.

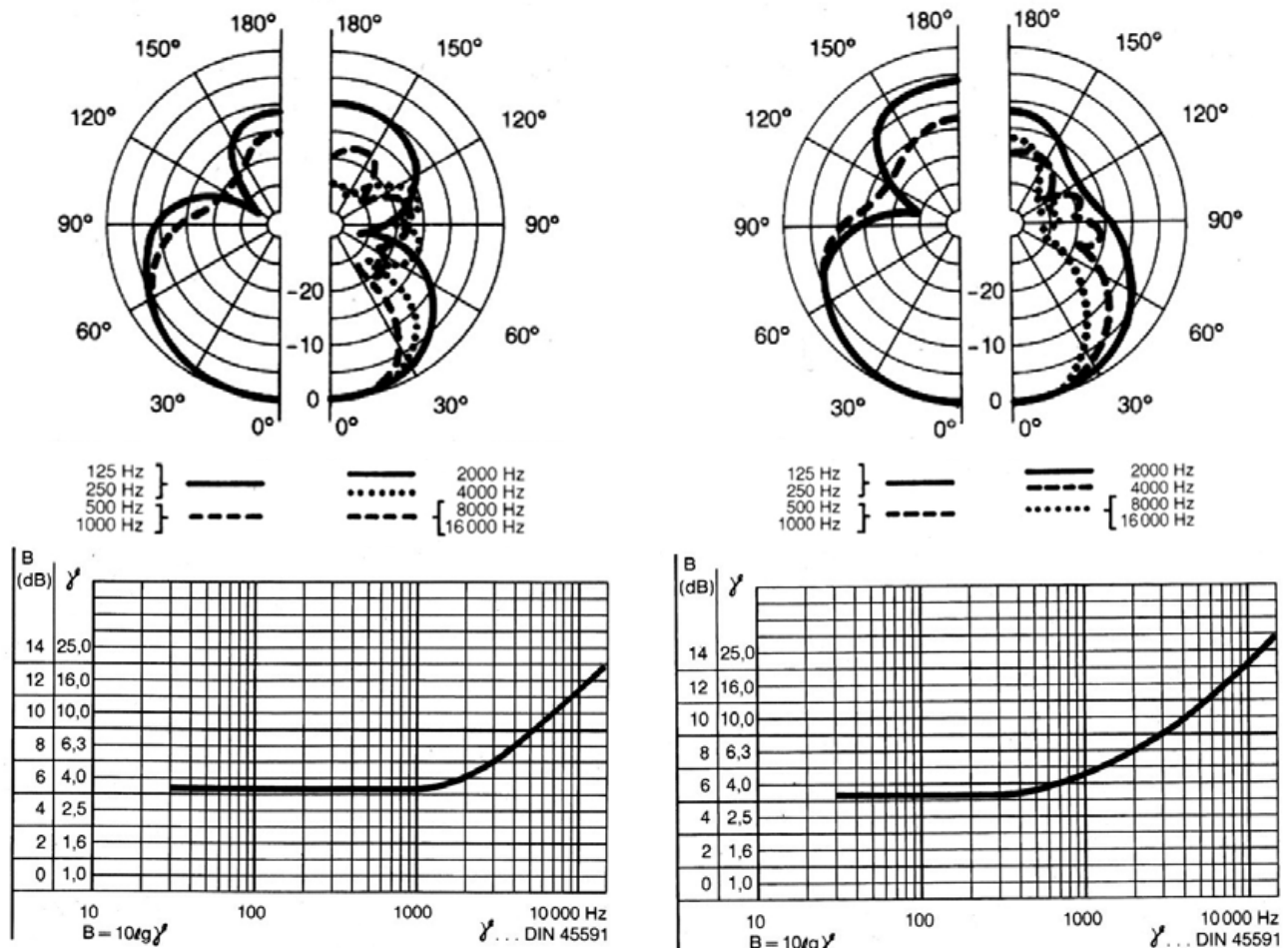
В рассмотренной ТД прямо не указывается собственный тип ХН капсуля (хотя для некоторых моделей указан тип приёмника – направленный или ненаправленный). Но руководствуясь представленными диаграммами направленности можно предположить, что среди направленных

приёмников преобладают капсули с реализованным супер- или гиперкардиоидным типом ХН.

ЧД работы интерференционного микрофона следует разделять на номинальный и рабочий. Под первым обычно понимается частотный диапазон, в котором выполняется заданное условие неравномерности ЧХЧ ΔN (например, не более ± 2), под вторым – частотный диапазон эффективного однонаправленного приёма, о котором говорилось выше. При этом заданная ΔN указана только для моделей Beyerdynamic (Германия), DPA и некоторых моделей Sennheiser.

В рассмотренной ТД нет указаний на то, какой из типов ЧД представлен. Можно предположить, что для большей части моделей, очевидно, указан номинальный ЧД, в основном охватывающий большую часть диапазона звуковых частот 20...70–18000...20000 Гц. Но есть и отдельные модели, номинальный ЧД работы которых значительно уже указанной полосы (например, микрофоны производителя «Неватон»).

Рабочий ЧД микрофона AKG CK 69-ULS хорошо виден на рис. 12 (график коэффициента направленности $\Omega(f)$). Для модификации длиной 176 мм он начинается с 2–2,5 кГц, для модификации длиной 317 мм – начиная с



а) длина микрофона 176 мм (без дополнительной трубки)

б) длина микрофона 317 мм (с дополнительной трубкой)

Рис. 12. Диаграммы направленности и частотные характеристики коэффициента направленности и индекса направленности модели AKG CK 69-ULS с дополнительной секцией антенны

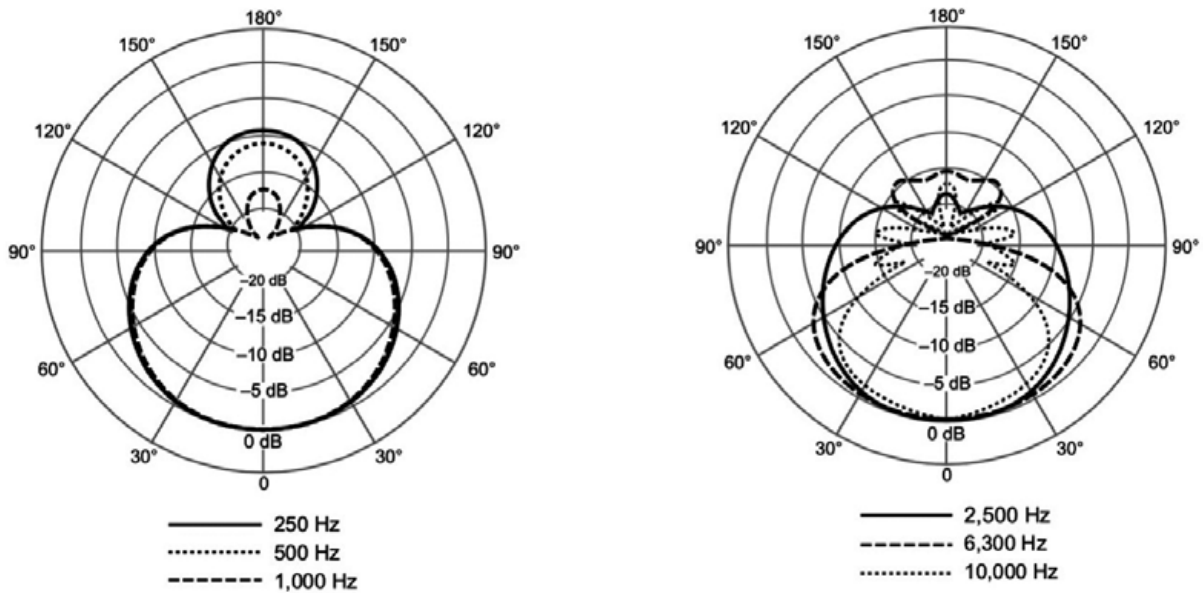


Рис. 13. Диаграммы направленности модели Shure VP 83F (длина микрофона 97 мм)

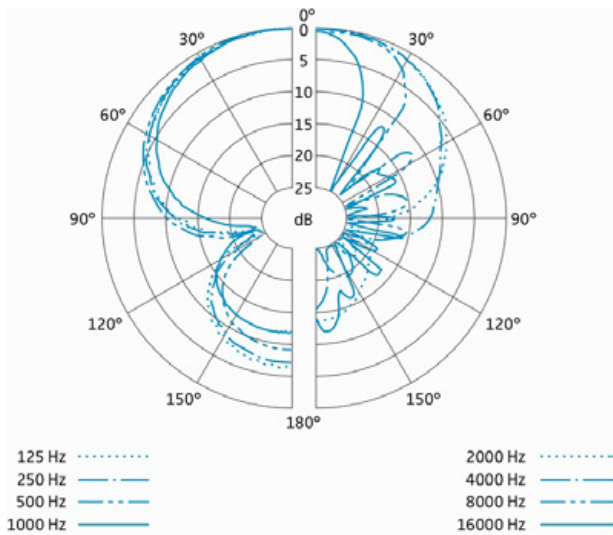


Рис. 14. Диаграммы направленности модели Sennheiser MKE 600 (длина микрофона 256 мм)

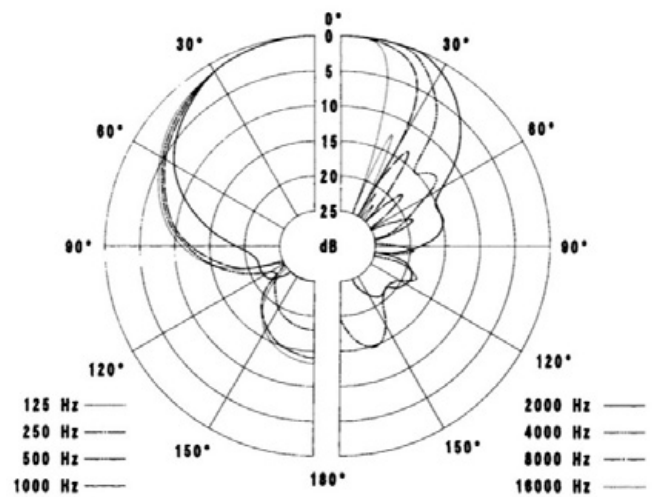


Рис. 15. Диаграммы направленности модели Sennheiser MKH 70-1 (длина микрофона 410 мм)

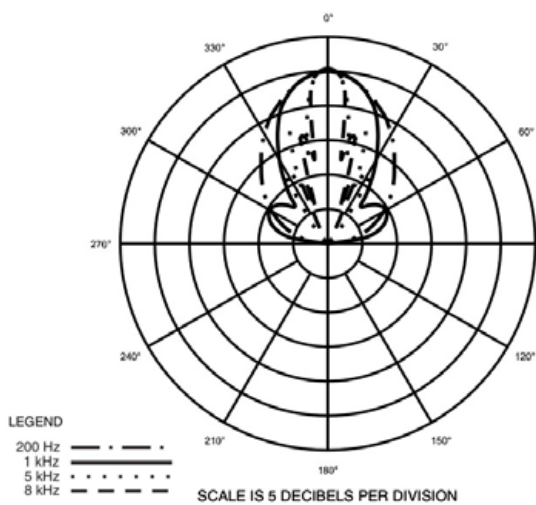


Рис. 16. Диаграммы направленности модели Audio-Technica BP4071L (длина микрофона 539 мм)

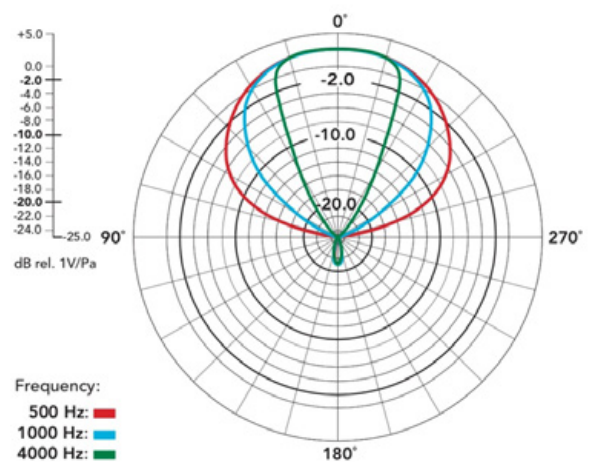


Рис. 17. Диаграммы направленности модели RODE NTG8 (длина микрофона 559 мм)

600–700 Гц. Для остальных моделей рабочих ЧД можно визуально оценить из диаграмм направленности. Например, для модели ShureVP 83F (97 мм) начало рабочего ЧД находится в диапазоне между 2,5–6,3 кГц, для модели микрофона Sennheiser MKE 600 (256 мм) – между 1–2 кГц. В целом, представленные в ТД диаграммы направленности хорошо соотносятся с теоретическими представлениями о частотном диапазоне эффективного однонаправленного приёма.

Для ряда моделей требуется низкое напряжение питания предусилителя, они способны работать от батареек. Такие модели чаще всего применяются в связке с видеокameraми (например, Audio-TechnicaPro24, ShureVP83F). Некоторые модели поддерживают работу в стереорежиме X/Y или позволяют производить запись по схеме M/S.

В таблице 2 представлены технические характеристики всех рассмотренных моделей.

Табл. 2. Технические характеристики современных промышленных образцов интерференционных микрофонов.

Условные обозначения:

f_n-f_b – номинальный частотный диапазон;

ΔN – возможные отклонения индивидуальной частотной характеристики чувствительности (ЧХЧ) микрофона от типовой;

S – чувствительность на 1000 Гц по свободному полю;

$L_{ш}$ – эквивалентный уровень звукового давления, обусловленный собственными шумами микрофона;

L_{max} – предельный уровень звукового давления;

Z – электрический импеданс;

m – масса микрофона.

Производитель	Модель	f_n-f_b , Гц-кГц	ΔN , дБ	S , мВ/Па	$L_{ш}$, дБА	L_{max} , дБ	Z , Ом	Питание, В	Особенности	Габариты, мм	m , г
Неватон	КМК 57	300-6	-	400	20	-	-	9	-	Ø50x470/640	-
	КМК 58	300-5	-	20	28	-	-	3	-	Ø30x310	-
	МК401	40-20	-	20-25	18	134	-	9-52	-	Ø20	120
AKG	СК 69-ULS	20-18	+/- 2	27	9-15	140	150	44-52	-	Ø21x176/317	70-100
	СК 568 В	20-20	-	11	18	-	600	9-52	-	Ø21x 253	160
	С 747 V11	30-18	+/- 3	8,5	32	133	400	9-52	-	Ø9x137	25
	СК 98	20-20	+/- 2	20	17	124-134	200	9-52	-	Ø19x58	40
Sennheiser	МКН 8060	50-25	-	63	11-23	129	25	44-52	-	Ø19x145	80
	МКН 8070	45-20	-	112	8-21	124	25	44-52	-	Ø19x432	300
	МКЕ 600	40-20	-	19-21	12-16	126-132	-	44-52	Работает от батареек	Ø20x256	128
	МКЕ 400	40-20	-	118-126	16-21	-	-	-	-	Ø21x130x62	-
	МКЕ 440	50-20	-	-	-	132	-	-	Стереомикрофон	Ø67x106x128	135
	ME 66	40-20	+/- 2,5	50	10-21	126	200	-	-	Ø22,5x221	65
	ME 67	40-20	+/- 2,5	50	10-21	126	200	-	-	Ø22,5x343	100
	МКН 416-P48U3	40-20	+/- 1	25	13-24	130	25	44-52	-	Ø19x250	-
	МКН 418-S	40-20	-	10-25	14-22	130	25	44-52	-	Ø19x280	220
	МКН 60-1	50-20	-	12,5-40	8-26	125-134	150	44-52	-	Ø25x280	150
МКН 70-1	50-20	-	15-50	8-26	124-132	150	44-52	-	Ø25x410	180	
Shure	VP 82	90-20	-	15,8	15	131,5-137,5	144	11-52	-	Ø22x195	76
	VP	89L	40-20	-	-	-	-	-	-	Ø21x386+102	174
		89M	50-20	-	21,1	15	113-117	115	11-52	Ø21x239+102	138
		89S	65-20	-	-	-	-	-	-	Ø21x137+102	117
	VP 83	50-20	-	14,9	17,4	129	171	Батарейка	Работает от батареек	Ø43x84x150	133
VP 83F	50-20	-	16,2	15,6	129,2	129,2	Батарейка	Ø58x97x17	215		
Neumann	КМР 81 i	20-20	-	18	12	128-138	150	44-52	-	Ø21x213	145
	КМР 82 i	20-20	-	21	12	128	150	44-52	-	Ø21x395	250
	КМР 81 D	20-20	-	-36 dBFS	9	123	-	7-10,5	-	Ø22x212	90
Beyerdynamic	MCE 85BA	34-19	+/- 3	31,6	20	115	20	Батарейка или 11-52	Работает от батареек	Ø23x284	110
	MCE 85 PV	40-19	+/- 3	31,6	19	118	200	Батарейка или 11-52	Ø23x200	81	

Производитель	Модель	$f_{н-ф},$ Гц-кГц	$\Delta N, дБ$	$S, мВ/Па$	$L_{ш}, дБА$	$L_{max}, дБ$	$Z, Ом$	Питание, В	Особенности	Габариты, мм	м, г
DPA	4017 C	70-20	+/- 2	19	13-15	146	150	44-52	-	Ø15x154	68
	4017 B	70-18	+/- 2	19	13-15	138	100	44-52	-	Ø19x212	68
	4017 ER/ES	40-18	+/- 2	19	13-15	138	100	44-52	-	Ø19x121	121
	MMC 4017	40-18	+/- 2	19	13-15	-	-	-	-	Ø19x113	30
RODE	NTG 1	20-20	-	-36 +/-2 дБ	18	139	50	48	-	Ø22x 217мм	105
	NTG 2	20-20	-	-36 +/-2 дБ	18	131	250 фантом 350 батарея	Батарейка или 48	Работает от бата- рейки	Ø22x278 мм	161
	NTG 3	40-20	-	-30 +/-2 дБ	13	130	25	48	-	Ø19 x255 мм	163
	NTG 4	20-20	-	25 мВ -32 +/-2 дБ	16	135	200	48, 24, 12	-	Ø22x225 мм	126
	NTG 4+	20-20	-	25 мВ -32 +/-2 дБ	16	135	200	Батарейка или 48	Работает от бата- рейки	Ø22x278 мм	176
	NTG 8	40-20	-	97,5 мВ -20 +/-2 дБ	8	124	25	48	-	Ø19x559 мм	345
Audio-Technica	ATR 6250	70-18	-	-	-	-	600	-	Стере для виде- окамеры	-	79
	ATR 6550	70-18	-	-	-	-	1000- 2200	-	Для виде- окамеры	-	113
	BP 4027	30-20	-	31,6	-	123	200	11-52	Стере	Ø21x380	142
	BP 4029	40-20	-	31,6	-	123	200	11-52	Стере	Ø21x236	103
	BP 4071	20-20	-	35,5	-	141-151	50	48	-	Ø21x395	136
	BP 4071 L	20-18	-	35,5	-	141-151	50	48	-	Ø21x539	175
	BP 4073	20-20	-	35,5	-	141-151	50	48	-	Ø21x233	99
	AT 897	20-20	-	8,9-10	-	115-129	200	Батарейка или 11-52	Работает от бата- рейки	Ø21x279	145
	AT 875 R	90-20	-	31,6	-	127	100	11-52	-	Ø21x175	80
	AT 8015	40-20	-	11,2-12,5	-	120-132	250-300	Батарейка или 11-52	Работает от бата- рейки	Ø21x460	195
	AT 8035	40-20	-	11,2-12,5	-	120-132	250-300	Батарейка или 11-52	Работает от бата- рейки	Ø21x369	170
	AT 8024	40-15	-	14,1	-	128	50	Батарейка	-	Ø172x82x30	114
	PRO 24	100-17	-	3,1	-	119	600	Батарейка	Работает от бата- рейки Стере X/Y	Ø21x116,5	111

Основным фактором, влияющим на частотный диапазон формирования острой ХН, является длина и конфигурация интерференционной антенны микрофона. По данному критерию наиболее предпочтительными из рас-

смотренных микрофонов являются следующие модели: Неватон КМК 57 (470/640), Sennheiser MKH 8070 (432 мм), Sennheiser MKH 70-1 (410 мм), Shure VP 89L (386+102 мм), Neumann KMR 82 i (395 мм), RODE NTG 8 (559 мм). ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Mason W.P., Marshall R.N.* A tabular directional microphone // Journal of Acoustic Society of America, Vol. 10, January 1939. pp. 206–2015.
2. *Robertson A.E.* Microphones. London – New-York: Hayden book, 1963. 359 pp.
3. *Rayburn Ray A.* Eargle's Microphone Book. Third Edition ed. Waltham, MA / Oxford: Elsevier Inc./ The Boulevard, 2012. 466 pp.
4. *Дрейзен И.Г.* Электроакустика и звуковое вещание. Москва: Связьиздат, 1961. 544 с.
5. Новые микрофоны типа «пушка» от Sennheiser // Звукорежиссер, Т. 4(125), 2011.
6. *Вахитов Ш.Я., Вахитов Я.Ш.* Микрофоны. Телефоны. Гарнитур. Теория, расчёт, конструирование, эксплуатация. СПб: СПбГУКИТ, 2010. 261 с.



ЗАЩИТА ИНВЕСТИЦИЙ АВТОРСКИМ СВИДЕТЕЛЬСТВОМ



Г.В. Фокин, finas@finas.su, Совет ТПП РФ по интеллектуальной собственности, Консультационно-методический кластер «Национальный консорциум ПМИС»

Аннотация

Один из ключевых вопросов креативности, автоматизации, искусственного интеллекта, инновационной и цифровой экономики – авторское право и авторское свидетельство. Но коммерциализации интеллектуальной собственности и защите интеллектуальных прав, как правило, мешают правовой нигилизм, конфликт интересов и отсутствие и/или качество право-подтверждающих

документов. Конфликт интересов будет всегда, но правовой нигилизм и качество право-подтверждающих документов вполне поправимы на уровне здравого смысла, необходимых навыков и помощи профессионального сообщества «НК ПМИС».

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, авторское свидетельство, авторское право, ноу-хау, франшиза, спецификация РИД, сертификация.

■ Если патентное право и патент всегда повышают издержки производства (патентные исследования, «зонтичные патенты», «патентные ландшафты» и «патентные войны»; растущие патентные пошлины; конфликт интересов инвесторов, исполнителей НИОКР и смежников – статьи 1370, 1371, 1373 ГК РФ), то авторское право – только добавленная стоимость профессионализма и креативности; доходы реализации франшиз и лицензий на научные и культурные ценности (произведения науки, литературы, искусства), топологии интегральных микросхем, базы данных, программы для ЭВМ, методики, регламенты, стандарты, технологии и ноу-хау.

Так как интеллектуальная собственность нематериальна, то для объективного признания (статья 1226 ГК РФ) и документального подтверждения интеллектуальных прав необходимо авторское свидетельство на произведение науки, литературы (включая программы для ЭВМ и программные комплексы) и искусства; базу данных; топологию интегральной микросхемы; техническое решение; селекционное достижение; технологию как со-

ставной объект гражданского оборота интеллектуальной собственности (ГОИС).

Авторское свидетельство раньше было «аналогом» патента (только без имущественного права автора на интеллектуальную собственность, которое принадлежало государству). Теперь это именной сертификат соответствия условиям договоров (соответственно, правовым нормам) для объективного признания и подтверждения экспертным сообществом интеллектуальных прав на результаты интеллектуальной деятельности (РИД) и личности автора-правообладателя в целях реализации правовых норм ГК РФ и гражданского оборота, капитализации, коммерциализации интеллектуальной собственности и управления рисками инвестиций в инновации. Есть авторское свидетельство – есть автор или соавторы; его нет – доказать наличие интеллектуальной собственности и принадлежность, соблюдение, отсутствие обременений интеллектуальных прав невозможно... а вдруг настоящий автор спрятан как «рояль в кустах» и неожиданно предъявит свои права на «дивиденды».

Авторское свидетельство – не индульгенция на все случаи жизни, но распространяется на все охраняемые законом РИД, включая изобретения, полезные модели, селекционные достижения, и в любой их объективной форме... в отличие от патента, который применим только для технических решений, решений внешнего вида изделий, селекционных достижений и ограниченного круга бизнес-задач – как правило, это патентные войны на разорение конкурентов судебными издержками и обеспечительными мерами. Однако, пока конкурента разоришь (а для этого нужны достаточно большие ресурсы и доказательств), сам пойдёшь по миру с сумой.

Авторское право может быть признано в отношении ноу-хау (секретов производства) – как суть охраняемого авторским правом РИД. Запатентованное техническое решение (изобретение, полезная модель) и селекционное достижение предметом ноу-хау быть не могут, так как патентование нарушает коммерческую тайну и конфиденциальность информации. Авторское право с исключительным правом в отношении ноу-хау может быть признано только в отношении топологий интегральных микросхем и произведений науки, литературы, искусства в объективной форме: отчётов НИОКР; спецификаций и рецептур; стандартных образцов; методик и стандартов, публикаций; монографий, диссертаций, учебников и сборников; технических заданий и эскизных проектов; программ для ЭВМ, программных комплексов и баз данных; сценариев, презентаций, выставок, сайтов и сетевых интерактивных сервисов; графических, архитектурных, дизайнерских инсталляций и реализаций и т.д.

При этом, только спецификация РИД дополнится сведениями о конфиденциальности информации и режиме коммерческой тайны, а само авторское свидетельство не нужно продлевать с затратами государственных пошлин, невозможно «перекрасить», оспорить и отозвать или игнорировать как патент – несомненное достоинство для бизнеса. К тому же, любое произведение или база данных могут иметь множество объективных форм существования РИД - от «клинописи» до проектной, конструкторской документации и результатов научно-технической деятельности (РНТД) в виде готовой продукции, интерактивных сервисов, каталогов (баз данных, справочников). Казалось бы – проблем нет, и не предвидится.

Но рынок напичкан суррогатами «авторских свидетельств» от издательств, от авторских обществ по коллективному управлению авторскими правами. Между тем, полноценное авторское свидетельство может быть оформлено только на основе Спецификации РИД по стандартам АСМК.013МУ-2013 или СТО АСМК.021МУ-2015 и может использоваться для:

– оценки по АСМК.015МУ-2012 «АСМК. Оценка (стоимости) исключительного права на интеллектуальную собственность. Методические указания»;

– страхования рисков по АСМК.017МУ-2012 «АСМК. Страхование рисков и страховое возмещение ущерба правообладателей. Методические указания»;

– учёта нематериальных активов согласно ПБУ-14/2007 и арбитражной практики.

Авторское свидетельство является неотъемлемым приложением паспорта интеллектуальной собственности и франшизы по АСМК.014МУ-2015 «ПМИС. Паспорт интеллектуальной собственности, ноу-хау и франшизы. Назначение, оформление и использование для отражения охраноспособности РИД в режиме охраны авторским правом и их модификации без создания производных и составных произведений. Методические указания».

Как оформить авторское свидетельство проще? Заключить лицензионный договор об использовании стандарта СТО.9003-10-2011 (система сертификации СДС ОИС, государственный регистрационный № РОСС RU.Ж157.04АД00) для оценки соответствия РИД и имеющихся документов, подтверждающих наличие, принадлежность и использование интеллектуальной собственности без нарушения интеллектуальных прав, для объективного признания интеллектуальных (авторских) прав... ответить на вопросы эксперта-аудитора ПМИС, подождать результатов оценки соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным и/или патентным правом и оформления авторского свидетельства (как правило, это занимает не больше двух недель времени).

Что проверяется? Оценка соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом и имеющейся документации осуществляется по вопросам признания:

– интеллектуальной деятельности и правовой охраны её результатов;

– видовой принадлежности интеллектуальной собственности;

– принадлежности, обременений, соблюдения интеллектуальных прав;

– использования и рисков инвентарного учёта интеллектуальной собственности;

– возможности оформления ноу-хау (секретов производства);

– возможности оценки (стоимостной) имущественных интеллектуальных прав;

– возможности страхования рисков и страхового возмещения ущерба или убытков;

– ценности (эффективности, перспективности) интеллектуальной собственности;

– потенциально охраноспособных интегрированных технических решений;

– реализации неотчуждаемых прав: авторства, доступа, отзыва, следования и т.д.

Авторское свидетельство оформляется бессрочно, так как авторское право действует в течение жизни автора и 70 лет после его смерти – дивидендов хватит на несколько поколений потомков автора, и всё это время авторское свидетельство актуально; для подтверждения подлинности его копия обнаружится в депозитарии «Авторское свидетельство».

Что нужно от автора? Заключить лицензионный договор; в электронном формате предоставить для проверки контрольный экземпляр РИД, его спецификацию и имеющуюся документацию; ответить на вопросы эксперта-аудитора ПМИС; самостоятельно депонировать (хранить) контрольный экземпляр и спецификацию РИД. По сути – для автора необременительные требования и процедура. Не в пример поддержания патентов в силе постоянно нарастающими государственными пошлинами с рисками неотражения в формуле изобретения существенной информации, либо наоборот – сделать её настолько подробной, что всё достанется расторопному конкуренту.

Необходимая документация. Для признания интеллектуальных прав с оформлением авторского свидетельства, как правило, достаточно Спецификации РИД; однако для признания интеллектуальной собственности, созданной в порядке трудовых отношений и обязанностей, также необходимы: трудовой договор, задание на интеллектуальную деятельность, отчёт о завершении и результатах интеллектуальной деятельности, договор соавторов о совместном распоряжении исключительным правом, подтверждение использования ресурсов работодателя для создания его интеллектуальных активов и договор об отчуждении правопреемнику исключительного права на интеллектуальную собственность в порядке реализации правовых норм статей 1295, 1461, 1470 ГК РФ.

Спецификация РИД. Исходный документ с описанием сути интеллектуальной деятельности и её результатов, предназначенный для аргументации правовой охраны этих результатов и принадлежности, обременений, соблюдения интеллектуальных прав (описание интеллектуальной деятельности и её результатов в виде произведения, технического решения, программы для ЭВМ, базы данных, монографии, диссертации, методики, регламента, сценария, презентации, стандарта, ноу-хау... предназначенный для объективного признания интеллектуальных прав и оформления: отчёта об оценке соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом; авторского свидетельства; сертификата признания интеллектуальной собственности или ноу-хау; сертификата соответствия объектов и подтверждений интеллектуальной собственности; паспорта интеллектуальной собственности, ноу-хау и франшизы; договора об отчуждении исключительного права, лицензионного соглашения и инвентарного учёта объекта нематериальных активов; судебного иска, определения, решения; сертификата менеджмента качества интеллектуальной собственности и т.д.).

Типовая форма спецификации РИД установлена стандартом АСМК.013МУ-2013 (методические указания) и СТО АСМК.021МУ-2015 (стандарт АО ГосМКБ «Вымпел»); предоставляется заинтересованным лицам в адаптированном под их бизнес-задачи виде.

По результатам оценки соответствия автор и его правопреемник (например, работодатель или инвестор по

договору авторского заказа или НИОКР) получают: доказательство для признания интеллектуальных прав и коммерциализации интеллектуальной собственности путём отчуждения исключительного права или на условиях лицензионного договора, франшизы; реализацию требований к отсутствию плагиата (например, для соискателей или подтверждения учёных степеней) и личных неотчуждаемых интеллектуальных прав – долю в прибыли правопреемника (право наследования), запрет эксплуатации интеллектуальных активов правопреемника (право отзыва), контроль использования интеллектуальных активов правопреемника (право доступа) и т.д.

При этом, автор и его правопреемник могут получить бонусы – профессиональную поддержку финансово-хозяйственной, производственной, предпринимательской, инвестиционной, договорной, налоговой, арбитражной практики, включая риски имитации (типичная проблема современного рынка ГОИС), непризнания, нарушения и утраты интеллектуальных прав, и страхования рисков имитации, нарушения, утраты авторских прав. Необходимая поддержка может быть оказана профильным центром компетенций или экспертом-аудитором консультационно-методического кластера «Национальный консорциум ПМИС» – договорного объединения центров компетенций, экспертов-аудиторов и разработчиков стандартов ПМИС (профессионального менеджмента интеллектуальной собственности), осуществляющих техническое регулирование ГОИС (гражданского оборота интеллектуальной собственности) и паспортизацию интеллектуальных активов, франшиз бизнеса.

Именно авторское свидетельство характеризует креативность, ценность и... имущественные права **Специалиста**. А если «доказывать ничего не нужно», то конфликт интересов неизбежно приведёт к «разбитому корыту».

Существенный вопрос – ценовая политика.

Как правило, это лицензионное вознаграждение за использование СТО.9003-10-2011 с оформлением авторского свидетельства (не путать с оказанием услуг сертификации РНТД) по единому прейскуранту «Национального консорциума ПМИС» – от 30000 рублей без НДС или без НДС в зависимости от правового статуса лицензиара: Центр компетенций ПМИС или Эксперт-аудитор ПМИС по оценке соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом.

Рекомендации по заполнению или совместная подготовка Спецификации РИД с Экспертом-аудитором ПМИС – от 30000 рублей (для программ ЭВМ, баз данных и составных произведений – от 60000 рублей). Цены определяются потребностями автора и его правопреемника в области научно-исследовательской, проектно-конструкторской, финансово-хозяйственной, предпринимательской, инвестиционной, договорной, страховой, арбитражной практики... и не меняются уже более десяти лет.

Если необходимо признание правообладателем юридического лица или работодателя, то целесообразно оформить сертификат признания интеллектуальной

собственности, ноу-хау или соответствия объектов и подтверждений интеллектуальной собственности – это дороже, но с постановкой корпоративного документо-оборота и/или подготовкой необходимой документации по АСМК.009МУ-2012, с паспортом интеллектуальной собственности и франшизы по АСМК.014МУ-2015, лицензионной политикой по АСМК.010МУ-2013 и комплектом доказательств для предпринимательской деятельности.

Что для этого нужно? Производство науки, литературы или искусства, которыми могут быть монографии и публикации, методики, учебные пособия и презентации, технические задания, рецептуры и спецификации, чертежи и изображения промышленного дизайна, ландшафтные проекты или пространственные, архитектурные формы, правила игр, сценарии... в общем случае, любой завершённый РИД, имеющий творческую природу создания и объективную форму произведения, и немного терпения.

Законодательство предоставляет произведениям охрану вне зависимости от их достоинств. Гармонизация отечественного законодательства с международной практикой позволила оформлять авторские свидетельства как сертификаты соответствия правовым нормам по правилам профильных систем сертификации (СДС), зарегистрированных в государственном реестре РФ. Теперь авторские свидетельства не только легализуют интеллектуальную собственность в объективной форме произведений, баз данных, ноу-хау, топологий интегральных микросхем, но и обеспечивают финансово-хозяйственную, инвестиционную, предпринимательскую деятельность и налоговую, арбитражную практику право-подтверждающими документами.

Заинтересованных лиц много (не скудеет рынок инноваций). Следуя правовому нигилизму, можно оформить «авторское свидетельство» для «украшения сакли» от издателя монографии или общества по коллективному управлению авторскими правами.

Но лучше, разобравшись с рисками ГОИС, оформить авторское свидетельство на основе спецификации РИД – это ещё не паспорт интеллектуальной собственности, но уже необходимый комплект аргументов для признания и оценки интеллектуальных прав (соответствующие практики управления рисками бизнеса проводят «Nevsky IP Law», «МЦНТИ», «Национальный консорциум ПМИС»).

Спецификация РИД может использоваться для решения бизнес-задач:

- признание, паспортизация и судебная защита интеллектуальной собственности;
- оценка стоимости имущественных интеллектуальных прав, имущественной ценности нематериальных активов и привлечение инвестиций;
- страхование рисков нарушения и утраты интеллектуальных прав;
- подготовка, реализация лицензионной политики и договорная практика;

- оформление ноу-хау для паспортизации франшиз по договору коммерческой концессии;

- подготовка программы инновационного развития интеллектуальных активов бизнеса;

- профилактика и управление рисками гражданского оборота интеллектуальной собственности;

- учёт, инвентаризация, оптимизация, использование, масштабирование, приватизация нематериальных активов и т.д., с комплексной оценкой соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом и консультационно-методической, юридической поддержкой автора, правопреемника, правообладателя.

На основании таких авторских свидетельств с 2006 года даже страхуются риски и возмещается ущерб, убытки страхователей, но это уже другая проблематика гражданского оборота и коммерциализации интеллектуальной собственности.

Много интересной и полезной информации представителям научных и образовательных организаций, промышленности и бизнеса, инвестирующим в инновации, перспективные технологии, конкурентные преимущества, монополию исключительного (имущественного) права, предоставляется на экспертных сессиях консультационно-методического кластера «Национальный консорциум ПМИС». Например, в 2018 году:

- «Авторское право и свидетельство: основы и практики управления рисками»

- «Авторское право на научные и культурные ценности, технологии и ноу-хау»

- «Авторское свидетельство и Спецификация РИД на произведение»

- «Анализ и прогноз эффективности интеллектуальной собственности»

- «Дивиденды авторского права на проекты и продукты цифровой экономики»

- «Добавленная стоимость и монополия инноваций цифровой экономики»

- «Закрепление и капитализация прав на концепцию, техническое задание, ноу-хау»

- «Закрепление и капитализация прав на методику, технологию, стандарт»

- «Закрепление и капитализация прав на научные и культурные ценности»

- «Закрепление и капитализация прав на программу для ЭВМ и базу данных»

- «Закрепление и капитализация прав на проект, продукт и франшизу предприятия»

- «Закрепление и капитализация прав на публикацию, презентацию, выставку»

- «Закрепление и капитализация прав на РИД по договору на выполнение НИОКР»

- «Закрепление и капитализация прав на учебное, справочное, методическое пособие»

- «Интеллектуальная собственность – национальное достояние России»

- «Исключительное право на РНТД: подготовка спецификации РИД»
 - «Конверсия и управление рисками ГОЗ на выполнение НИОКР»
 - «Лицензионная политика и паспорт интеллектуальной собственности»
 - «Менеджмент интеллектуальных активов и управление рисками бизнеса»
 - «Менеджмент интеллектуальных активов и франшизы по смарт-контрактам»
 - «Менеджмент интеллектуальных, нематериальных активов и РНТД»
 - «Методология извлечения прибыли с использованием авторского права»
 - «Оформление авторского свидетельства и капитализация авторских прав»
 - «Паспортизация и дивиденды интеллектуальных активов от Nevsky IP Law»
 - «Регламенты СМК интеллектуальных активов предприятия для роста бизнеса»
 - «Рост стоимости и повышение инвестиционной привлекательности инноваций»
 - «Техническое регулирование ГОИС и ПМИС для защиты инвестиций»
 - «Техническое регулирование ГОИС как фундамент роста бизнеса»
 - «ТОК-ШОУ Интеллектуальная собственность на «SAW FUTURE SECURITY»»
 - «Тренды интеллектуальных активов цифровой экономики и бизнеса»
 - «Управление рисками увлечения патентным и пренебрежения авторским правом»
 - «Школа выживания интеллекта и методология извлечения прибыли»
 - «Школа роста эффективности бизнеса на рынках цифровой экономики».
- Особенный интерес для бизнеса представляет учебный курс «Менеджмент интеллектуальных активов предприятий и франшиз бизнеса» по вопросам:
- «Основы и практики гражданского оборота интеллектуальной собственности (ГОИС)»
 - «Оценка соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным и/или патентным правом»
 - «Право-подтверждающие документы для ГОИС и менеджмент интеллектуальных активов»
 - «Инвентаризация, оптимизация, реструктуризация и повышение эффективности НМА»
 - «Лицензионная политика и договорная практика реализации РИД, исключительных прав»
 - «Профилактика рисков административных, налоговых, уголовных правонарушений ГОИС»
 - «Спецификация РИД и паспортизация интеллектуальных активов, ноу-хау, франшиз»
 - «Капитализация исключительного права, привлечение инвестиций и выгоды бизнеса»

- «Коммерциализация компетенций, кооперация практик ПМИС и страхование рисков ГОИС»
- «Международная кооперация по программе «Интеллектуальная собственность и инновации».

С аттестацией профессиональной компетентности и оформлением сертификата специалиста по менеджменту интеллектуальных активов предприятия и управлению рисками упущенной выгоды бизнеса. Заинтересованным лицам оказывается помощь:

- инвентаризация и оптимизация, паспортизация нематериальных активов;
- кооперация компетенций и бизнес-практик в формате «Национальный консорциум ПМИС»;
- методическое обеспечение бизнес-практик и менеджмента интеллектуальных активов;
- объективное признание интеллектуальных прав, интеллектуальных активов, ноу-хау;
- оценка соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом;
- оценка стоимости исключительных прав, ущерба от их нарушений, окупаемости франшиз;
- паспортизация интеллектуальной собственности и РНТД, технологий, ноу-хау, франшиз;
- презентация разработок, инноваций, технологий, ноу-хау, франшиз в «Шоу-рум МЦНТИ»;
- разработка лицензионной политики, франшиз и оптимизация договорной практики.

Заинтересованные лица могут присоединиться к консультационно-методическому кластеру «Национальный консорциум ПМИС» со своими практиками менеджмента интеллектуальных активов и технического регулирования, управления рисками ГОИС. Оформляются:

- авторское свидетельство
- аттестат аккредитации Центра компетенций ПМИС
- аттестат аккредитации Эксперта-аудитора ПМИС
- сертификат качества право-подтверждающих документов
- сертификат менеджмента интеллектуальных активов и франшиз
- сертификат признания интеллектуальной собственности и ноу-хау
- сертификат специалиста по управлению интеллектуальными активами.

Для повышения конкурентоспособности бизнеса консультационно-методический кластер «Национальный консорциум ПМИС» рекомендует режим ноу-хау в отношении объектов авторского права. Именно для ноу-хау в режиме коммерческой тайны издержки производства минимальны, а сроки охраны инноваций бизнес-практик авторским правом и конкурентных преимуществ максимальны.

Не смущайтесь некомпетентности и нехватки времени - всего знать и везде успеть невозможно. Руководствуйтесь принципом – защищать не интеллектуальную собственность, а инвестиции и креативность разработчиков ноу-хау... и ищите поводыря. ■



САМЫЕ ПЕРВЫЕ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА



Н.А. Майоров, henrymay@mail.ru, cinemafirst.ru,
режиссёр-оператор, киновед, член Союза кинематографистов РФ

*Продолжение. Начало в МТК 2013-1,2,3(7); №27,28,29;
2014-1(8): №31; 2015-1(9): №35; 2018-1,2(12)*

■ 1977

– В СССР состоялась **первая в мире демонстрация голографического фильма на экране.**

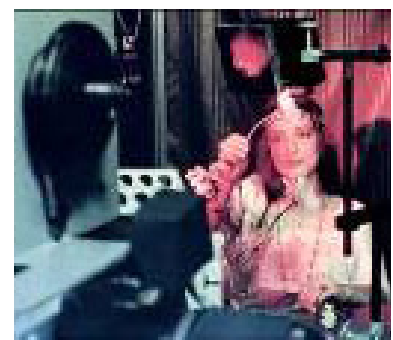
В 1974 г. Виктор Григорьевич Комар инициировал и возглавил разработку голографической системы объёмного кинематографа, с изложением и обоснованием основных принципов создания такой системы (подробнее читайте в МТК 2013–3(7)). За два года в научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ) были разработаны:

- отражательный голографический экран, фокусирующий в пространстве зрительного зала трёхмерные цветные изображения;

- теория и технология производства толстослойных голографических киноплёнок сверхвысокого разрешения;
- съёмочные и проекционные объективы;
- новые технологии съёмки.



Д.т.н. Комар В.Г. с фрагментом киноплёнки первого голографического фильма



Проекция и съёмка голографического фильма



Проектор для демонстрации голографического фильма. У проектора инженер НИКФИ Юлий Ионин (слева). Справа: сотрудники НИКФИ д.т.н. Л.Ф. Артюшин и д.х.н. С.А. Бонгард, к.т.н. Э.Л. Виноградова и М.Н. Круглова смотрят в НИКФИ на голографическом экране голографическое изображение

Сравнение размеров LaserDisc (слева) и CD

В 1976 году был снят короткий голографический фильм на 70-миллиметровой голографической киноплёнке в импульсном лазерном когерентном свете и осуществлена проекция на голографический экран. Андрей Тарковский в 1985 году говорил: «Важнее всего было бы для кино стать голографическим».

Голографический фильм на полупрозрачном голографическом экране одновременно могли смотреть четыре человека: двое на отражение и двое на просвет.

1978

– Начало цифровой записи звука и изображения. Выпущены первые видеодиски (Laser VideoDisc). Первый лазердиск поступил в продажу 15 декабря 1978 года в Атланте. Каждый диск имел стандартный диаметр 30 см, на каждой из сторон которого умещалось до 60 минут аналоговых видео- и аудиозаписей.

1981

– Впервые в мире актёр избран президентом страны – **Рональд Рейган** (Ronald Wilson Reagan) избран 40-м президентом США (1981–1989).

1985

С 17 марта по 16 сентября 1985 года на Международной выставке Экспо'85 в японском городе Цукуба (Tsukuba) в куполе Cosmos Dome в павильоне Fujitsu демонстрировался первый фильм в формате IMAX 3D «We Are Born of Stars» (Мы рождены звёздами) (1985).

1987

– 3 сентября в Италии выпущен в прокат первый в мире полнометражный игровой фильм «Giulia e Giulia» (Джулия и Джулия), снятый с помощью оборудования Sony в системе «Видео высокой чёткости», использующего высококачественную видеосистему NHK (HDVS) – аналоговый видеоформат с разрешением 1125 строк. С цифрового мастера видеоизображения были изготовлены негативные материалы на 35-мм киноплёнке для печати прокатных копий и их демонстрации в кинотеатрах.

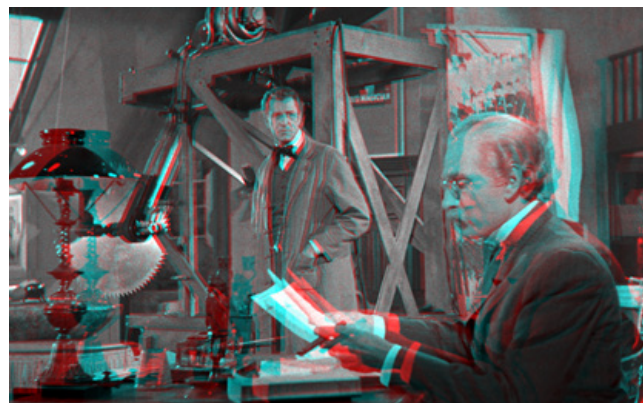
– В 1987 году впервые по анаглифическому способу произведён показ по телевидению стереоскопического ки-



Павильон Fujitsu на Международной выставке Экспо'85 в городе Цукуба (Tsukuba), Япония (1985)



Стереопара из фильма «The Mad Magician» (Безумный фокусник) (1954)



Анаглифический кадр из фильма «The Mad Magician» (Безумный фокусник) (1954)



Кадр из анимационного фильма «Toy Story» (История игрушек) (1995)



Кадр из анимационного фильма «Старик и море» (The Old Man and the Sea) (1999)



Александр Петров за работой. Фото ИТАР-ТАСС



Стереокамера двухплёночная 70 мм формата, кадр 15 перф., вес с 120 метровой кассетой – 97 кг



Стереопара из фильма «Space Station 3D» (Космическая станция) (2002)

нофильма, которым стал американский боевик «The Mad Magician» (Безумный фокусник) (1954).

1992

– 12 июня выпущен на экран «**Batman Returns**» (Бэтмэн возвращается) — первый фильм с «цифровым звуком» по системе «**Dolby Digital**».

1993

– Кинокомпания «BRC Imagination Arts» выпустила первый кругорамный фильм по системе «Iwerks 360» – «**Postcards**» (Почтовые открытки).

– 11 июня выпущен на экран «**Jurassic Park**» (Парк Юрского периода) – первый фильм с «цифровым звуком» по системе **Digital Theatre System (DTS)**.

– 18 июня выпущен на экран «**Last Action Hero**» (Последний киногерой) – первый фильм с «цифровым звуком» по системе **Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)**.

1995

– 21 апреля выпущен на экран первый игровой фильм по системе IMAX® «**Wings of Courage**» (Крылья храбрости).

– 11 ноября выпущен на экран **первый в мире полнометражный мультипликационный фильм «Toy Story» (История игрушек), созданный Walt Disney Pictures совместно с Pixar Animation Studios полностью компьютерным способом.**

1999

– 19 мая выпущен на экран «**Star Wars: Episode I – The Phantom Menace**» (Звёздные войны: Эпизод I – Призрачная угроза) – первый фильм с «цифровым звуком» по системе **Dolby Digital Surround EX**.

– 22 июля американской компанией «Ogden Entertainment» выпущен в прокат мультипликационный фильм «**Старик и море**» (The Old Man and the Sea), **впервые** снятый по системе IMAX® ярославским аниматором Александром Петровым и получивший премию «Оскар» за 2000 год в номинации «Лучший анимационный фильм».

2002

– 17 апреля выпущен на экран «**Space Station 3D**» (Космическая станция) – первый стереоскопический фильм по системе IMAX 3D, снятый в космосе.

2010

– 2 февраля первую в мире прямую 3D-трансляцию футбольного матча провёл телеканал Sky Sports со стадиона Эмирейтс в Лондоне. (Матч 24-го тура английской Премьер-лиги между «Арсеналом» и «Манчестер Юнайтед»).

– 31 июля проведена первая в мире 3D-трансляция боя боксёров-профессионалов из немецкого Гамбурга. Главным событием стал бой немца Себастьяна Збика с аргентинцем Хорхе Эйландом в весе до 72,6 килограмма. Организатором вечера бокса стала ведущая немецкая промоутерская компания Universum и её руководитель Клаус-Петер Коль.

– 11 декабря первая в мире прямая 3D-трансляция хоккейного матча в формате 3D (NHL 10/11, RS: Montreal Canadiens vs Toronto Maple Leafs). ■



Передача футбольного матча в 3D формате. Справа 3D-камера



Стереопара из прямой трансляции футбольного матча (2011)



Чемпионат Англии 2010-11. 18-й тур. Челси - Манчестер Юнайтед



Чемпионат Англии 2010-11. 36-й тур. Манчестер Юнайтед - Челси



Стереопара из прямой трансляции хоккейного матча 11 декабря 2010 года