

2018-2 (12) СОДЕРЖАНИЕ



стр. 9

Технологии

О.Н. Раев, ncenter@list.ru
Разрешающая способность матриц фото- и киноаппаратов 3



стр. 16

С.Б. Бирючинский, sbiruchinsky@optica4d.com
Оптические системы объективов космического применения 9

Д.Г. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru
Дополненная реальность: виды и технологии формирования изображения 16

Стандартизация



стр. 32

Г.В. Фокин, finas@finas.su
Эпитафия и перспективы отечественного франчайзинга 29

Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы

А.С. Мелкумов, info@stereokino.ru
Экранизация театральных постановок в стереоскопическом формате 32

Страницы истории кино



стр. 38

Н.А. Майоров, henrymay@mail.ru
Самые первые в истории развития мирового кинематографа (продолжение) 38

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

1. Статья представляется на электронном носителе, либо по почте Kevin@paradiz.ru, объемом 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 осуществлен при финансовой поддержке: 1. Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям 2. ЧОУ ДПО «Высшая школа киноинженеров».

Руководитель проекта: Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Индлиן 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
Перегудов 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
Одинокое 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»
Объем 5 п.л. Заказ № 147100.
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 несет 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

2018-2 (12) CONTENT



Technology

O. Raev, *ncenter@list.ru*
Resolution of photographic and movie cameras 3



S. Biryuchinskiy, *sbiruchinsky@optica4d.com*
Optical systems of space lenses 9

D. Chekalin, *chekalinnikfi@mail.ru*
Augmented reality: types and technologies of image formation 16

Standardization



G. Fokin, *finas@finas.su*
The epitaph and prospects of domestic franchising 29

Master-class

A. Melkumov, *info@stereokino.ru*
The screening of theatrical productions in a stereoscopic format 32

Movie history



N. Maiorov, *henrymay@mail.ru*
The very first in the history of development world cinematography (continued) 38

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 № FS77-65712
May 13, 2016.

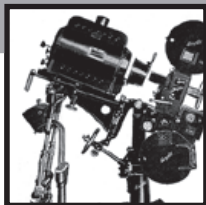
www.mtk-magazine.ru,
e-mail: kevin@paradiz.ru,
tel. (fax): +7 (495)795-0297,795-0299

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. Odinokov, Bauman MSTU, Moscow, RF
Ph.D. A. Peregudov, 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.



РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МАТРИЦ фото- и киноаппаратов



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

Аннотация

В статье представлена методика расчёта разрешающей способности матриц цифровых фото- и киноаппаратов. Введена в рассмотрение апертура дискретного элемента светочувствительной матрицы, преобразование Фурье которой позволяет определить пространственную частотную характеристику матрицы. Разрешающая способность матрицы определяется как пространственная частота, при которой коэффициент передачи контраста равен минимально различимому значению. Показано, что таких пространственных частот у матрицы много, это может привести, в случае недостаточной оптической фильтрации сигнала изображения до его дискретизации, к неоднозначности значения разрешающей способности изображения и к появлению муара.

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

■ С появлением цифровой фотографической и киносъёмочной аппаратуры и существенным расширением числа потребителей подобной аппаратуры (сегодня каждый мобильный телефон имеет встроенную фотокамеру с возможностью фото- и видеосъёмки) сформировался обширный круг публикаций, в первую очередь в Интернете, в которых разрешающая способность выпала из числа характеристик качества изображения, получаемого при фото- и киносъёмке. Вместо разреша-

RESOLUTION OF PHOTOGRAPHIC AND MOVIE CAMERAS

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

Abstract

The article contains a technique of calculation of the photographic and movie cameras' matrices resolution. The aperture of the image sensor matrix is taken into consideration. The Fourier transform of this aperture allows to calculate the modulation transfer function of the matrix. The resolution of the matrix is determined as a spatial frequency which results in equality of the contrast transmission factor to the threshold value. It is shown that there are multiple frequencies of a matrix. That may effect to ambiguity of the resolution value and moire emersion in case of insufficient optical filtering of the image signal before its sampling.

Keywords: digital photo camera, digital movie camera, resolution, limiting resolution or the resolving power, modulation transfer function, image sensor, sampling, aliasing, moire.

ющей способности часто применяют параметр «разрешение», под которым большинство понимает количество пикселей светочувствительной матрицы [9,10,13]. Термин «разрешение» принят в англоязычной литературе [16,17], из неё он попал в переводимые на русский язык технические описания фото- и кинотехники, произведённой за рубежом, а затем и в другие публикации.

Но получаемые экспериментально значения разрешающей способности в цифровой фото- и киноаппаратуре

не согласуются с количеством пикселей, приходящихся на 1 мм матрицы. Поэтому авторы предлагают различные коэффициенты их согласования, которые получаются разными в зависимости от типа матрицы, используемого объектива и параметров киносъёмки, а также от последующей обработки изображений. Другие предложения основаны, например, на измерении линейных отрезков в пикселях [11], однако такой подход приемлем только для измерений разрешающей способности изображения, демонстрируемого на экране.

Из последних публикаций, посвящённых разрешающей способности, укажем статью [12] как наиболее полную и достоверную. Однако в данной статье рассмотрена специфика телевизионной съёмочной аппаратуры. К тому же статья, на наш взгляд, выполнена в популярном изложении и не лишена некоторых спорных моментов.

В научной литературе разрешающей способности матриц сегодня уделяется недостаточно внимания. Таких публикаций немного, и почти все они посвящены цифровым изображениям вне сферы кинематографа. Так, в статье [2] обосновывается выбор тест-объекта для оценки разрешающей способности цифровых оптико-электронных систем мониторинга земной поверхности, в [4] анализируется разрешающая способность матриц телевизионной аппаратуры.

Поэтому считаем полезным рассмотреть разрешающую способность светочувствительной матрицы как самостоятельный элемент фотоаппарата или кинокамеры, влияющий на качество записываемого изображения, с учётом производимой матрицей дискретизацией изображения по двум ортогональным пространственным координатам. Для однозначности понимания последующего материала приведём определение разрешающей способности.

«Разрешающая способность фотографической системы характеризует её способность разделять воспроизводить мелкие детали объекта; определяется наибольшим значением частоты штрихов регулярной одномерной решётки – миры, при которой в фотоизображении эти штрихи ещё могут быть различены (не сливаются)» [14]. Иными словами, под разрешающей способностью принято понимать способность различать отдельно «изображения мелких соседних деталей объектов съёмки» [8]. На практике разрешающая способность «определяется максимальным числом отдельно передаваемых... параллельных штрихов (линий) стандартной... миры, приходящихся на 1 мм изображения» [8].

Дополнительно отметим, что для оценки качества изображения часто применяется ещё одна характеристика – резкость. «В отличие от разрешающей способности резкость фотографического изображения характеризует качество воспроизведения относительно крупных деталей фотоизображения» [15]. Принято, что резкость фотографического изображения это «степень отчётливости границы между двумя участками фотоизображения,

получившими разные экспозиции» [15]. Таким образом, разрешающая способность и резкость – это разные параметры качества изображения.

Что же касается матрицы, то её главная задача – записать изображение, произведя дискретизацию сигналов изображения по пространственным координатам. При этом матрица влияет и на разрешающую способность записываемого изображения.

Особенности светочувствительной матрицы

Светочувствительный слой матрицы разбит на отдельные элементы (субпиксели) – участки светочувствительного слоя, каждый из которых, поглощая попадающие во время экспонирования на него фотоны, излучает свободные электроны, собираемые под действием внешнего электрического поля в потенциальной яме под этим участком матрицы.

Архитектура светочувствительных элементов в разных типах матриц разная, но у всех типов матриц пространственная картина расположения светочувствительных участков в матрице всегда имеет регулярный характер, они сгруппированы в фиксированные массивы прямых строк и столбцов. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведена микрофотография светочувствительного слоя матрицы.

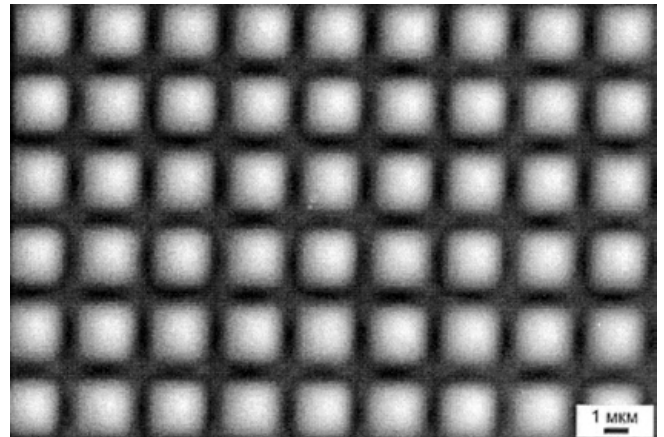


Рис. 1. Микрофотография светочувствительного слоя матрицы [3]

В одноматричных фото- и кинокамерах перед каждым субпикселем расположен свой светофильтр, необходимый для дискретизации изображения по спектральному составу. В этом случае минимальный цветовой элемент светочувствительного слоя матрицы, называемый пикселем, состоит из группы субпикселей, часто из четырёх или шести субпикселей.

При записи изображения в кадре фиксируется положение каждого пикселя, которое не изменяется от кадра к кадру и в том же соответствии выводится на экран при демонстрации фото- или киноизображения. При этом все светочувствительные участки имеют одинаковые размеры и форму, обычно квадратную, в некоторых случаях – прямоугольную.

Разрешающая способность светочувствительной матрицы

Оценку разрешающей способности светочувствительной матрицы выполним, используя теорию преобразования сигналов в кинематографе, теоретические основы которой систематизировал Олег Фёдорович Гребенников в конце 1970-х годов [5]. Дальнейшее развитие теории преобразования сигналов в кинематографе в нашей стране связано с деятельностью научных школ О.Ф. Гребенникова, Н.К. Игнатъева [7] и их последователей. Наиболее полной монографией, обобщившей достигнутые научные результаты в области различных кинематографических систем, стала книга О.Ф. Гребенникова и Г.В. Тихомировой, вышедшая в 2002 году [6].

Известно, что разрешающая способность – это значение пространственной частоты, при которой коэффициент передачи контраста равен предельному значению, при котором контраст ещё различается человеком [5]. Поэтому для определения разрешающей способности светочувствительной матрицы рассмотрим пространственную частотную характеристику цифровой фото- и кинокамеры. В литературе, наряду с термином «пространственная частотная характеристика», часто используется термин «функция передачи модуляции», а в более ранних публикациях – «частотно-контрастная характеристика» или «контрастно-частотная характеристика». В рамках теории преобразования сигналов киноизображений корректным для применения является термин «пространственная частотная характеристика», чтобы отличать её от частотных характеристик преобразования сигналов изображения по времени.

Пространственная частотная характеристика цифровой камеры рассчитывается путём перемножения пространственных частотных характеристик элементов съёмочного аппарата, которые влияют на записываемое изображение. К таким элементам относятся: объектив, светорассеяние, сдвиг изображения во время экспонирования матрицы, сама матрица и т.д.

Поэтому для решения поставленной задачи необходимо определить пространственную частотную характеристику светочувствительной матрицы. Для этого обратимся к рис. 1, из которого видно, что перед каждым субпикселем имеется квадратное (в общем случае прямоугольное) окно, через которое фотоны, направляемые объективом, проходят к светочувствительному слою. Это окно обрамляют со всех сторон светонепроницаемые электроды. Поэтому ширина l_x^{an} светочувствительного слоя субпикселя всегда меньше расстояния l_x^{un} между центрами двух соседних субпикселей. Назовём это окно апертурой субпикселя. Очевидно, что если фотоны попадут в апертуру субпикселя, то они дойдут до светочувствительного слоя данного субпикселя. Если же фотоны попадут на участки матрицы за пределами апертуры рассматриваемого пикселя, то они будут поглощены другими субпикселями, либо другими участками матрицы, не приводящими к фотоэффекту, либо отразятся от неё.

Поэтому можно ввести в рассмотрение характеристику пропускания света отдельным субпикселем к его участку светочувствительного слоя или, иными словами, апертурную характеристику субпикселя, которую в первом приближении допустимо представить как прямоугольную функцию (рис. 2):

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x < \frac{l_x^{an}}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{при } x = \frac{l_x^{an}}{2} \\ 0 & \text{при } x > \frac{l_x^{an}}{2} \end{cases}, \quad (1)$$

где x – горизонтальная пространственная координата в плоскости светочувствительного слоя матрицы.

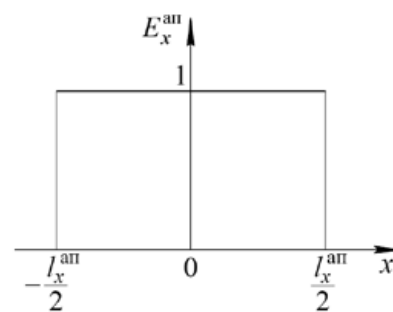


Рис. 2. Апертурная характеристика субпикселя по пространственной координате x

Наличием перед каждым субпикселем микролинзы, собирающей свет, в данном приближении можно пренебречь, поскольку микролинза перераспределяет направления движения фотонов ближе к центру субпикселя, увеличивая тем самым вероятность их поглощения светочувствительным слоем в рабочей зоне над потенциальной ямой, но не добавляет количества фотонов из областей других субпикселей.

Таким образом, каждый субпиксель участвует в дискретизации сигналов изображения по пространственным координатам за счёт ограничения апертуры субпикселя и преобразования фотонов, поглощённых светочувствительным слоем субпикселя, в пропорциональное количество свободных электронов, собираемых в течение времени экспонирования в электрической потенциальной яме субпикселя.

Применив преобразование Фурье к апертурной характеристике субпикселя, получаем пространственную частотную характеристику субпикселя:

$$K_x^{cn}(f_x) = \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect}(x) \exp(-i2\pi f_x x) dx = \frac{\sin(\pi f_x l_x^{an})}{\pi f_x l_x^{an}}, \quad (2)$$

Где: K_x^{cn} – коэффициент передачи контраста; f_x – пространственная частота вдоль оси x , соответствующая ко-

личеству периодов гармонического изменения яркости в сигнале изображения, приходящихся на 1 мм пространственной координаты x ; i — мнимая единица ($i = \sqrt{-1}$).

Пространственные частоты измеряются в линиях/мм, или мм^{-1} .

На рис. 3 показан пример рассчитанной с помощью формулы (2) пространственной частотной характеристики субпикселя, характеризуемого шириной апертуры 5 микрон.

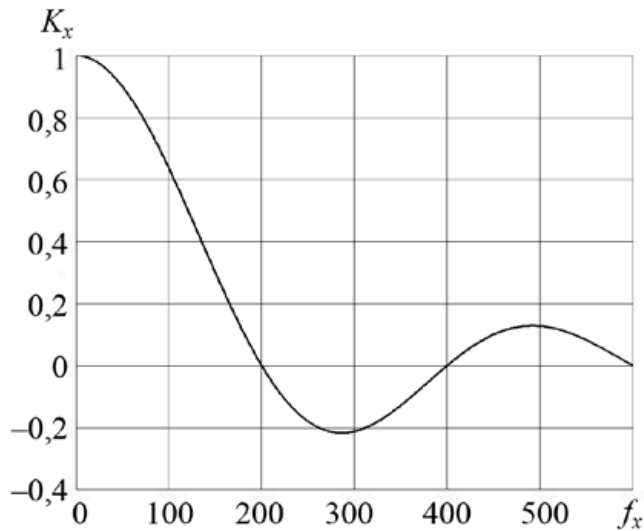


Рис. 3. Пространственная частотная характеристика субпикселя с прямоугольной площадью и шириной субпикселя 5 микрон

Если форма апертуры субпикселя квадратная, то ширина и высота окна субпикселя будут одинаковыми $l_x^{\text{ан}} = l_y^{\text{ан}}$, и, соответственно, одинаковыми будут пространственные частотные характеристики в горизонтальном и вертикальном направлениях. Если же форма апертуры субпикселя прямоугольная, то пространственные частотные характеристики в ортогональных направлениях будут разными.

Поскольку в пределах одной матрицы размеры и форма всех субпикселей одинаковы, то пространственные частотные характеристики у всех субпикселей одинаковы, и можно считать, что они соответствуют пространственной частотной характеристике светочувствительной матрицы.

Из формулы (2) следует, что при пространственных частотах, равных

$$f_x^0 = \frac{n}{l_x^{\text{ан}}}, \quad (3)$$

где n — целое число: 1, 2, 3, ..., пространственная частотная характеристика матрицы равна нулю, т.е. эти пространственные частоты отфильтровываются светочувствительной матрицей при записи изображения.

В рассматриваемом примере при пространственных частотах в диапазоне от 200 мм^{-1} до 400 мм^{-1} коэффици-

ент передачи контраста равен отрицательным значениям. Это означает, что фаза гармоник скачком изменяется на 180° , в результате в изображении гармонического изменения яркостей светлые и тёмные участки поменяются местами.

Разрешающая способность фото- и кинокамеры

Как сказано выше, пространственная частотная характеристика цифрового аппарата определяется перемножением пространственных частотных характеристик составных элементов. Рассмотрим только два из них: объектив и светочувствительную матрицу. Отметим, что у разработчиков объективов вместо термина «пространственная частотная характеристика» принят термин «функция передачи модуляции» (см., например, [1]). При этом функцию передачи модуляции разработчики и продавцы объективов на свои изделия указывают крайне редко, хотя в расчётах объективов она присутствует.

На рис. 4 показан пример пространственных частотных характеристик объектива 1 и матрицы 2. Умножением их друг на друга рассчитана результирующая пространственная частотная характеристика цифровой камеры 3.

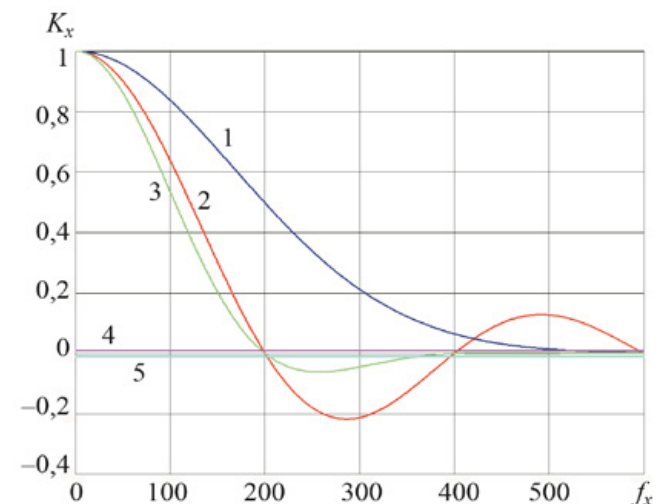


Рис. 4. Пример пространственных частотных характеристик: 1 — объектива, 2 — матрицы, 3 — цифровой камеры; 4 и 5 — предельные значения коэффициента передачи контраста

Если в рассматриваемом примере принять предельно видимый контраст равным 0,01, то разрешающая способность данной цифровой камеры составит 196 мм^{-1} . Однако, начиная с пространственной частоты 204 мм^{-1} , записанный контраст снова позволяет увидеть различия яркости в гармоническом сигнале вплоть до частоты 363 мм^{-1} , которая становится разрешающей способностью второго порядка. Из этого следует, что для рассмотренных параметров матрицы рекомендуется использовать объектив более низкого качества, фильтрующий пространственные частоты, превышающие 196 мм^{-1} .

Искажения изображения, вызываемые пространственной дискретизацией

Частота пространственной дискретизации f_d сигнала киноизображения, измеряемая количеством замеров освещённости изображения, выполненных на 1 мм светочувствительного слоя матрицы, определяется расстоянием $l_x^{\text{шп}}$ между центрами субпикселей в матрице, т.е. шагом пространственного расположения субпикселей:

$$f_d = \frac{1}{l_x^{\text{шп}}}. \quad (4)$$

Поскольку расстояние $l_x^{\text{шп}}$ всегда больше апертюры субпикселя $l_x^{\text{ап}}$, то частота пространственной дискретизации не связана с разрешающей способностью светочувствительной матрицы.

Пусть в рассматриваемом примере расстояние $l_x^{\text{шп}} = 0,006$ мм. Тогда частота пространственной дискретизации сигнала изображения матрицей составит $f_d = \frac{1}{0,006} = 167 \frac{\text{замеров}}{\text{мм}}$.

Согласно теореме В.А. Котельникова (в зарубежной и переводной отечественной литературе теореме В.А. Котельникова называют теоремой Найквиста, теоремой Шеннона, теоремой Шеннона-Найквиста, теоремой отсчётов), частота дискретизации должна быть как минимум в два раза больше максимальной частоты спектра исходного сигнала. Таким образом, в рассматриваемом примере изображение может быть восстановлено после дискретизации без искажений, если в нём не будет пространственных частот, превышающих 83 мм^{-1} . В противном случае возникнут искажения первого рода, порождённые наложением ложных спектров на исходный спектр в дискретном сигнале изображения. Эти искажения проявляются в виде муара на периодических пространственных структурах.

Таким образом, спектр пространственных частот сигнала изображения до его дискретизации в рассматриваемом примере должен быть ограничен в значительно большей степени, чем указано выше.

Высокие пространственные частоты входного сигнала киноизображения фильтруются объективом, выполняющим не только функцию формирования оптического изображения, но и функцию оптического фильтра по причине присутствующих у него оптических аберраций и дифракции света на апертурной диафрагме объектива. Однако в цифровой киносъёмочной аппаратуре для устранения возможности появления пространственных искажений первого рода фильтрующего действия объектива недостаточно. Поэтому в цифровых фото- и киноаппаратах перед матрицей устанавливают дополнительный оптический фильтр, так называемый OLPF-фильтр, который не только выполняет пространственную фильтрацию сигнала изображения, но и корректирует сигнал изображения по спектру, в том числе,

отсекает инфракрасное излучение (современные матрицы чувствительны к инфракрасному излучению), а также OLPF-фильтр является защитным фильтром, предохраняющим светочувствительный слой матрицы от внешнего воздействия и пыли.

Заключение

Выполненный в статье анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Разрешающая способность светочувствительной матрицы имеет несколько значений, кратных обратной величине апертюры субпикселя. При этом появляющиеся отрицательные значения коэффициента передачи контраста означают, что соответствующие пространственные частоты при пространственной дискретизации изображения сдвигаются по фазе на 180° , в результате чего в изображении гармонического изменения яркостей с такими частотами светлые и тёмные участки поменяются местами.

2. Частота пространственной дискретизации сигнала изображения определяется как обратная величина шага пикселей в матрице и не соответствует разрешающей способности матрицы. Частота пространственной дискретизации всегда меньше разрешающей способности матрицы.

3. Согласно теореме В.А. Котельникова, для предотвращения возможности появления пространственных искажений первого рода (муар), необходимо до процесса пространственной дискретизации изображения (до экспонирования матрицы) произвести оптическую фильтрацию изображения, в результате которой будут подавлены все пространственные частоты, превышающие половину частоты пространственной дискретизации. Для такой фильтрации перед матрицей устанавливают OLPF-фильтр. Однако в результате такой фильтрации разрешающая способность фото- или киноаппарата уменьшится более чем в два раза. ■

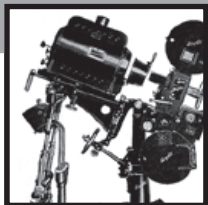
ЛИТЕРАТУРА

1. Бирючинский С.Б., Тихомирова Г.В., Барский И.Д. Анализ критериев пригодности объективов для стереосъёмки / Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VIII Международная научно-практическая конференция, Москва, 25–26 апреля 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 137–145.
2. Веселов Ю.Г., Данилин А.А., Тихоных В.В. Выбор тест-объекта для оценки разрешающей способности цифровых оптико-электронных систем мониторинга земной поверхности / Наука и образование: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 4. С. 1–24.
3. Взгляд изнутри: матрицы цифровых камер. <http://habrahabr.ru/post/143169/> (дата обращения 17 ноября 2013 г.).

4. *Гомон Ю.Б., Михайлов В.А., Белозерцев А.В.* Анализ разрешающей способности матричного фоточувствительного прибора с зарядовой связью / Актуальные вопросы развития индустрии кино и телевидения в современной России. Сборник научных трудов, посвящённый Году российского кино: в 2 частях / отв. редактор А.Д. Евменов. СПб: СПбГИКиТ, 2016. С. 52–59.
5. *Гребенников О.Ф.* Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе): учебное пособие для вузов кинематографии. М.: Искусство, 1982. 239 с.
6. *Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В.* Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): учебное пособие. СПб.: СПбГУКиТ, 2002. 712 с.
7. *Игнатъев Н.К.* Дискретизация и её приложения. М.: Связь, 1980. 264 с.
8. *Каценеленbogen Э.Д.* Фотографическая способность / Фотокинетехника / гл. ред. Е.А. Иофис. М.: Советская энциклопедия, 1981. С. 267, 268.
9. Матрица. Размер матрицы. <http://www.64bita.ru/matrix.html> (дата обращения 18 мая 2018 г.).
10. Матрица фотоаппарата. <http://vybrat-tehniku.ru/ustroystvo/matrica.html> (дата обращения 18 мая 2018 г.).
11. *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.
12. Разрешающая способность на пути от аналога к цифре. <https://cctvonyx.ru/article/razreshayushchaya-sposobnost-na-puti-ot-analoga-k-tsifre/> (дата обращения 20 февраля 2018 г.).
13. Цифровая кинокамера. https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровая_кинокамера (дата обращения 18 мая 2018 г.).
14. *Шульман М.Я.* Разрешающая способность фотографической системы / Большая советская энциклопедия. 1976. Том 21. С. 430, 431. Ст. 1278, 1279.
15. *Шульман М.Я.* Резкость фотографического изображения / Большая советская энциклопедия. 1976. Том 21. С. 587. Ст. 1748.
16. American cinematographer manual / Edited by Michael Goi. Tenth edition. Vol. I. 2014.
17. *Stump D.* Digital Cinematography Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflows. Focal Press, 2014.
- 25–26 апреля 2016 г.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2016. P. 137–145.
2. *Veselov Yu.G., Danilin A.A., Tikhonychev V.V.* Vybora test-ob"ekta dlya otsenki razreshayushchei sposobnosti tsifrovyykh optiko-elektronnykh sistem monitoringa zemnoi poverkhnosti / Nauka i obrazovanie: elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie MGU im. N.E. Baubana. 2012. No 4. P. 1–24.
3. Vzgl'yad iznutri: matritsy tsifrovyykh kamer. <http://habrahabr.ru/post/143169/> (data obrashcheniya 17 noyabrya 2013 g.).
4. *Gomon Yu.B., Mikhailov V.A., Belozertsev A.V.* Analiz razreshayushchei sposobnosti matrichnogo fotochuvstvitel'nogo pribora s zaryadovoi svyaz'yu / Aktual'nye voprosy razvitiya industrii kino i televideniya v sovremennoi Rossii. Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyi Godu rossiiskogo kino: v 2 chastyakh / отв. redaktor A.D. Evmenov. SPb: SPbGKIiT, 2016. P. 52–59.
5. *Grebennikov O.F.* Osnovy zapisi i vosproizvedeniya izobrazhenii (v kinematografe): uchebnoe posobie dlya vuzov kinematografii. M.: Iskusstvo, 1982. 239 p.
6. *Grebennikov O.F., Tikhomirova G.V.* Osnovy zapisi i vosproizvedeniya informatsii (v audiovizual'noi tekhnike): uchebnoe posobie. SPb.: SPbGUKiT, 2002. 712 p.
7. *Ignat'ev N.K.* Diskretizatsiya i ee prilozheniya. M.: Svyaz', 1980. 264 p.
8. *Katsenelenbogen E.D.* Fotograficheskaya sposobnost' / Fotokinotekhnika / gl. red. E.A. Iofis. M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1981. P. 267, 268.
9. Matritsa. Razmer matritsy. <http://www.64bita.ru/matrix.html> (data obrashcheniya 18 maya 2018 g.).
10. Matritsa fotoappara. <http://vybrat-tehniku.ru/ustroystvo/matrica.html> (data obrashcheniya 18 maya 2018 g.).
11. *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.
12. Razreshayushchaya sposobnost' na puti ot analoga k tsifre. <https://cctvonyx.ru/article/razreshayushchaya-sposobnost-na-puti-ot-analoga-k-tsifre/> (data obrashcheniya 20 fevralya 2018 g.).
13. Tsifrovaya kinokamera. https://ru.wikipedia.org/wiki/Tsifrovaya_kinokamera (data obrashcheniya 18 maya 2018 g.).
14. *Shul'man M.Ya.* Razreshayushchaya sposobnost' fotograficheskoi sistemy / Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya. 1976. Vol. 21. P. 430, 431. St. 1278, 1279.
15. *Shul'man M.Ya.* Rezkost' fotograficheskogo izobrazheniya / Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya. 1976. Vol. 21. P. 587. St. 1748.
16. American cinematographer manual / Edited by Michael Goi. Tenth edition. Vol. I. 2014.
17. *Stump D.* Digital Cinematography Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflows. Focal Press, 2014.

REFERENCES

1. *Biryuchinskii S.B., Tikhomirova G.V., Barskii I.D.* Analiz kriteriev prigodnosti ob"ektivov dlya stereos"emki / Zapis' i vosproizvedenie ob"emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva,



ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТИВОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ



С.Б. Бирючинский, к.ф.-м.н., профессор, sbiruchinsky@optica4d.com,
ООО «Оптико-механические системы», РФ

Аннотация

Рассмотрены некоторые оптические схемы объективов космического применения, разработанные автором. Проведено сравнение основных оптических характеристик телескопов различной архитектуры. Приведены примеры расчёта оптических систем объективов, применяемых для различных задач, как в области астрономии, так и в области дистанционного зондирования земли. Даны практические рекомендации по разработке и использованию объективов телескопов.

Ключевые слова: объектив, телескоп, спутник, аберрации, оптическая система, оптимизация, пропускная способность.

■ Создание оптических систем с предельной разрешающей способностью является одной из важнейших задач космической отрасли во многих странах мира. Процессы построения подобных оптических систем частично пересекаются и с задачами профессиональной кинематографии (особенно в области расчёта оптических систем, регистрации и обработки изображений). Существуют различные методы расчёта и оптимизации оптических систем, пригодные, в том числе, и для задач разработки объективов космического применения (например, [1–6]). Также актуальность данной темы можно проследить по зарубежным публикациям (например, [7, 8]). Среди отечественных публикаций имеются как выдающиеся, с мировым уровнем значимости (например, [9]), так и совершенно безграмотные, не обладающие практической значимостью (например, [10] и аналогичные), что указывает на заметную деградацию оптической отрасли в РФ.

OPTICAL SYSTEMS OF SPACE LENSES

S. Biryuchinskiy, Ph.D, Prof., sbiruchinsky@optica4d.com,
Opto-mechanical Systems Limited, Russia

Abstract

Some optical schemes of objectives for space application developed by the author are considered. Comparison of the main optical characteristics of various telescopes architecture is carried out. Examples of objectives optical systems calculation applied to various tasks both in the field of astronomy and in the field of remote sensing of the earth are given. Practical recommendations about development and use of telescope objectives are given.

Keywords: lens, telescope, satellite, aberrations, optical system, optimization, bandwidth.

Такие параметры системы как габариты, рабочие длины волн, масса, разрешающая способность, относительное отверстие и параметры фотоприёмника для хорошо исправленной оптической системы (без заметных аберраций) являются сложным образом взаимосвязанными. Это также связано с существованием различных вариантов архитектуры оптических систем (подходящих под габаритные ограничения), примерно одинаковых по основным характеристикам. На практике часто даются одновременно требования по габаритам, предпочтительному фокусному расстоянию и эквивалентному угловому разрешению (критерии углового разрешения могут быть различны), что может приводить к плохо разрешимым противоречиям даже для дифракционно-ограниченных оптических систем.

Процесс выбора необходимой архитектуры оптической системы объективов космического применения неотъемлемо связан как с выбором фотоприёмника изображения

(методом его регистрации), так и с аппаратно-программной составляющей его обработки. Иногда требуется повысить разрешающую способность за счёт постобработки полученного изображения. Данное действие в общем случае не представляется возможным, т.к. получаемое с матричного фотоприёмника изображение дискретно и содержит фиксированный объём информации об объекте наблюдения, и любые манипуляции с предоставленным количеством информации на выходе могут лишь его уменьшить, но никак не увеличить (можно улучшить визуальное восприятие части полученной информации, но при этом её общее количество, как правило, будет уменьшено, что никак не улучшит эквивалентное угловое разрешение). Само по себе получаемое на выходе количество информации об объекте зависит от информационной пропускной способности объектива, условий съёмки, характеристик фотоприёмника и некоторых других факторов (например, можно обработать несколько снимков одного участка, что частично приведёт к некоторому ограниченному увеличению количества полученной информации).

В некоторых случаях (например, если априори известна точная информация об объекте и соблюдается ряд условий) возможно применение численно-аналитических методов, восстанавливающих информацию об объекте сверх того, что было получено на выходе фотоприёмника (с определённой степенью достоверности). Однако данные методы весьма ограничены в практическом применении. Существуют также различные методы аподизации и им подобные (например, с целью уменьшить диаметр первого тёмного кольца Эйри, что теоретически может многократно повысить разрешающую способность), однако на практике для задач дистанционного зондирования земли эти методы практически непригодны. Другим методом повышения разрешающей способности является активное взаимодействие с зондируемым объектом (специальная внешняя подсветка, как например, в некоторых методах микроскопии), но данные методы сложны и не универсальны.

Что касается прочей цифровой обработки изображений, то возможны различные варианты (или их комбинации) алгоритмов, улучшающих восприятие некоторых деталей полученного изображения, а также различные алгоритмы по улучшению качества картинки за счёт получения множества снимков как смещённых относительно матрицы (смещение до нескольких пикселей), так и полученных с разных ракурсов (в том числе, фотограмметрическая обработка).

Отличительной особенностью оптических систем объективов космического применения являются требования по минимизации по массе и габаритам, что зачастую на практике приводит к необходимости создания комбинированных оптических систем разного назначения, объединённых в одном общем корпусе. В таких объективах могут применяться архитектуры оптических систем, в которых оптическая поверхность может являться рефракционным элементом для одной группы длин волн и зеркальным для

другой (т.е. объединение оптических систем с разным ходом лучей в рамки одной оптической архитектуры). В качестве примера на рис. 1 показана архитектура оптической системы комбинированного трёхканального объектива приёмно-передающего устройства. Основное предназначение системы – создание защищённого канала связи, в том числе, между космическими аппаратами.

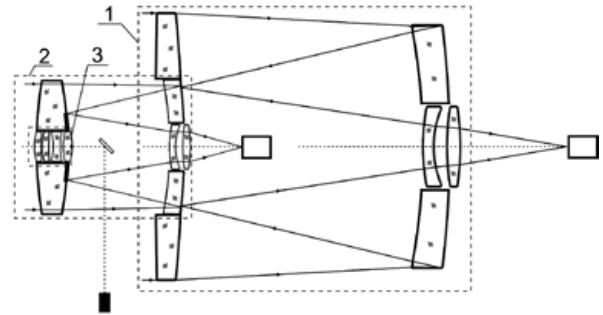


Рис. 1. Оптическая схема комбинированного объектива приёмно-передающего устройства

Fig. 1. The optical scheme of a combined objective of the send-receive device

Процесс выбора архитектуры объективов космического применения связан не только с их функциональным применением, но и с требованиями необходимой радиационной стойкости изделия (существенно ограничивает спектр применяемых оптических материалов), строгими массо-габаритными ограничениями, а также конструктивными требованиями по динамическим нагрузкам и особенностям сборки/юстировки. Сочетание данных факторов на практике часто приводит к существенным различиям с архитектурами оптических систем наземного применения.

На рис. 2 показана оптическая система двухзеркального объектива с трёхлинзовым корректором и диаметром апертуры 700 мм. В базовом варианте угловое поле зрения составляет 1° , соответственно, линейное – 85,5 мм. Относительное отверстие объектива телескопа 1:7. Угловое поле зрения может быть увеличено без изменения базовых характеристик путём усложнения архитектуры линзового корректора (при этом зеркальная часть системы не усложняется). Объектив предназначен для работы в широком спектральном диапазоне – от 0,4 до 3 мкм, что позволяет решать широкий спектр задач дистанционного зондирования земли.

График полихроматической функции передачи модуляции (рис. 3,а) иллюстрирует высокое, ограниченное дифракцией, качество изображения для всех рабочих длин волн и по всему полю зрения. Графики кривизны поля и дисторсии (рис. 3,б) показывают высокое качество коррекции соответствующих aberrаций, как правило, не требующее дальнейших улучшений (при необходимости дисторсия может быть уменьшена в десятки раз, но за счёт значительного усложнения профиля оптических поверхностей).

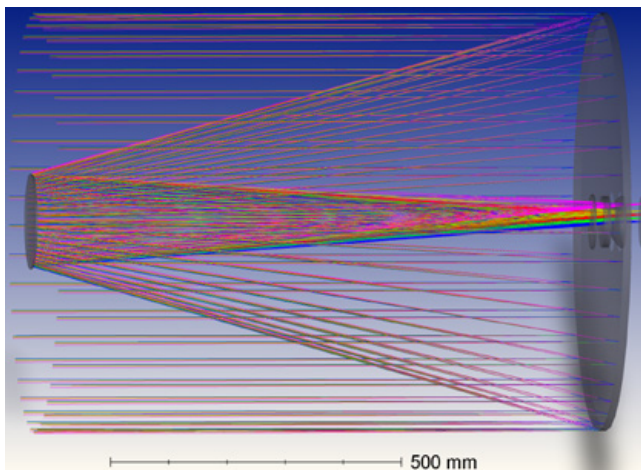


Рис. 2. Оптическая схема двухзеркального объектива с линзовым корректором и диаметром апертуры 700 мм
 Fig. 2. The optical scheme of a two-mirrors objective with lens corrector and 700 mm aperture diameter

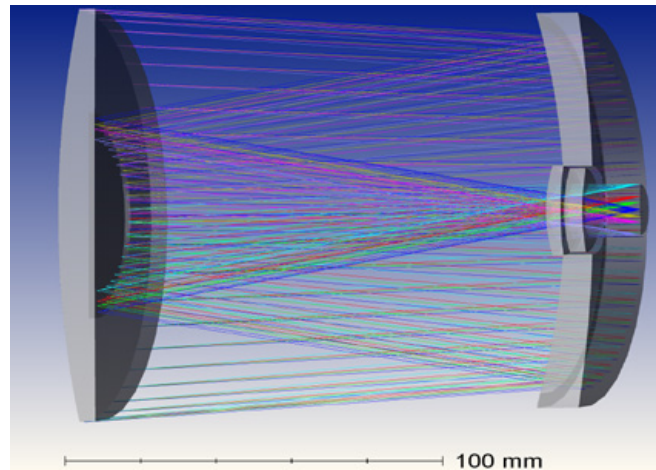


Рис. 4. Оптическая схема светосильного (1:2) зеркально-линзового компактного объектива с расширенным спектральным диапазоном
 Fig. 4. The optical scheme of a fast (1:2) catadioptric compact objective with extended spectral range

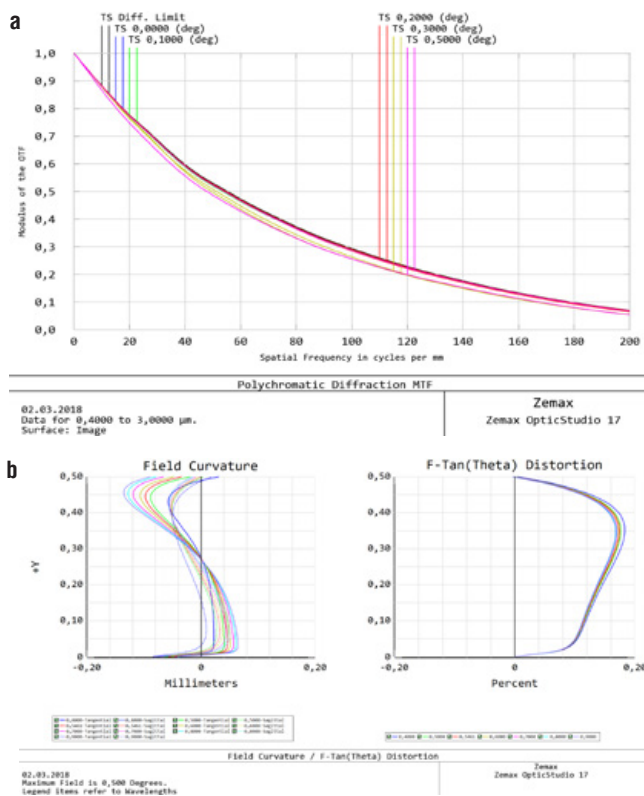


Рис. 3. Графики полихроматической функции передачи модуляции (а), кривизны поля и дисторсии (б) для оптической системы рис. 2
 Fig. 3. Plot of a polychromatic modulation transfer function (a), field curvature and distortion (b) for fig. 2 optical system

Для создания малогабаритных объективов могут применяться зеркально-линзовые архитектуры оптических систем с рефракционными компонентами, сопоставимыми по диаметру с основной апертурой (поскольку учитывается общий вес изделия, количество таких компонентов должно быть минимально возможным). На

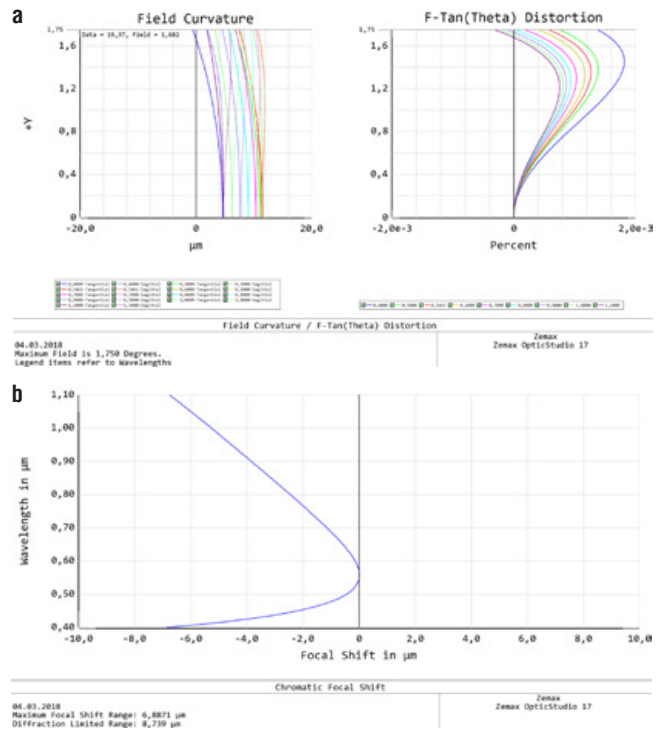


Рис. 5. Графики кривизны поля и дисторсии (а) и продольной хроматической аберрации (б) объектива рис. 4
 Fig. 5. Plot of a field curvature and distortion (a) and longitudinal chromatic aberration (b) for fig. 4 optical system

рис. 4, в качестве примера, показана оптическая система светосильного (1:2) зеркально-линзового компактного объектива с расширенным спектральным диапазоном (0,4–3 мкм). Данная оптическая система изготавливается из одного материала и обладает не только дифракционным качеством изображения по всему полю, но и сверхнизким значением дисторсии (рис. 5,а) и хроматизма (рис. 5,б). Относительные отверстия подобных рис. 4 объективов могут достигать до 1:1, однако для менее

светосильных систем (1:4–1:5) часто существуют более оптимальные решения (в зависимости от постановки задачи, особенно, по части углового поля зрения и спектрального диапазона).

В некоторых случаях, с целью увеличения разрешающей способности, объектив телескопа может иметь несколько апертур. Один из примеров такого варианта архитектуры оптической системы показан на рис. 6. Данная схема с двумя апертурами фактически является интерферометром, содержит два входных зрчка, систему зеркал и за счёт многократных отражений является компактной (обеспечивает разрешающую способность 0,3 угловых секунды). На рисунке не показаны линзовые корректоры и некоторые вспомогательные компоненты для обеспечения мульти-спектральности. Относительное отверстие подобных систем, как правило, составляет около 1:15 и не может быть слишком большим из-за конструктивных сложностей и наличия более оптимальных решений в области светосильных систем.

Помимо видимого и ближнего инфракрасного диапазона, некоторые задачи требуют работы в среднем инфракрасном диапазоне (например, 8–14 мкм). Из-за существенного ограничения по выбору применяемых оптических материалов (в том числе, это связано и с радиационной стойкостью), а также высоких требований как по качеству изображения, так и по светосиле,

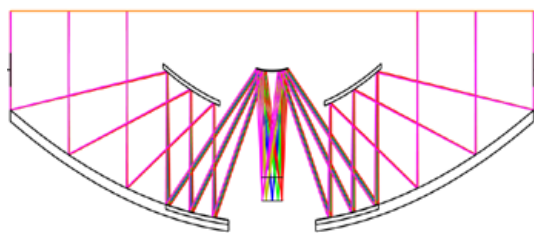


Рис. 6. Оптическая схема зеркального объектива высокого разрешения с двумя апертурами
Fig. 6. The optical scheme of a high resolution reflector objective with two apertures

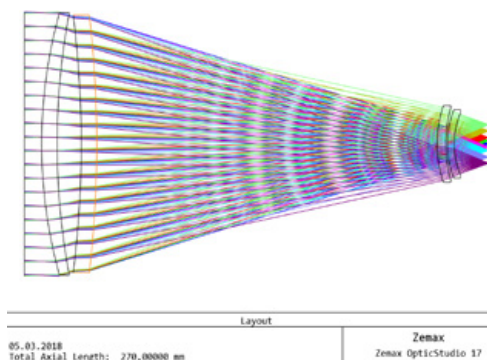


Рис. 7. Оптическая схема светосильного (1:1.4) четырёхлинзового объектива для работы в среднем инфракрасном диапазоне
Fig. 7. The optical scheme of a fast (1:1.4) 4-lens refractor objective for middle IR spectral range

диапазон оптимальных решений архитектур объективов существенно сужается. Могут применяться как линзовые, так и зеркально-линзовые или чисто зеркальные системы. Пример высококачественной светосильной линзовой системы показан на рис. 7. Диаметр апертуры составляет 140 мм, относительное отверстие 1:1.4, угол поля зрения 6° (линейное поле зрения 20.6 мм). Графики полихроматической функции передачи модуляции (рис. 8,а), кривизны поля и дисторсии (рис. 8,б), а также продольной хроматической абберра-

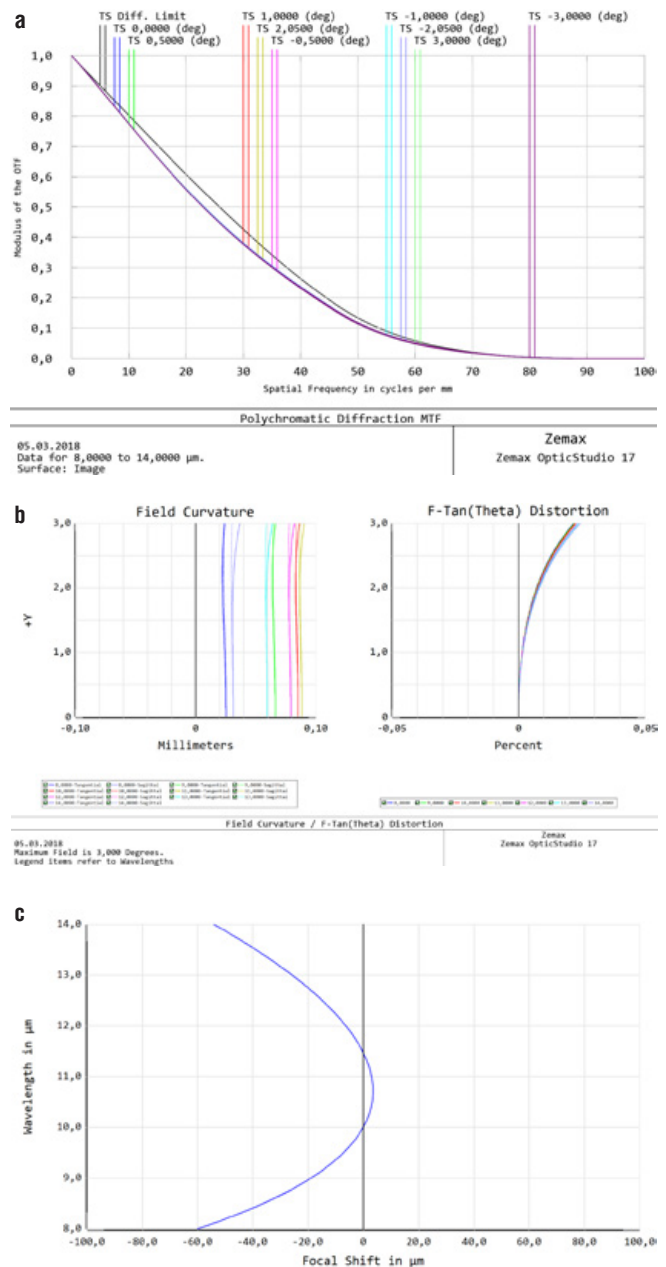
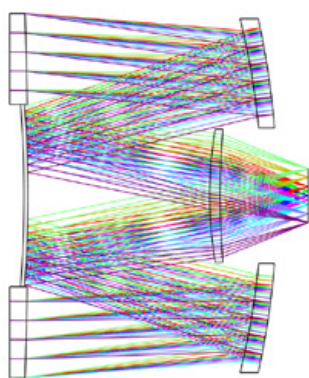


Рис. 8. Графики полихроматической функции передачи модуляции (а), кривизны поля и дисторсии (б), продольной хроматической абберрации (с) для оптической системы рис. 7.
Fig. 8. Plot of a polychromatic modulation transfer function (а), field curvature and distortion (б), longitudinal chromatic aberration (с) for fig. 7 optical system

ции (рис. 8,с) показывают не только дифракционное качество изображения по всему полю (число Штреля более 0.9), но и сверхнизкое значение дисторсии, не превышающее 0.025% (асферические поверхности не применялись).

Аналогичный рис. 7 по базовым характеристикам объектив, но другой, компактной зеркально-линзовой архитектуры, показан на рис. 9. Применение оптической системы другой архитектуры позволило создать более компактный и лёгкий объектив с ещё более лучшей коррекцией aberrаций (рис. 10,а. Число Штреля в данном случае превышает 0.99 по всему полю), а также на два порядка меньшим хроматизмом (рис. 10,б). Тем не менее, наличие высокого (25% по площади) центрального экранирования вносит свои особенности. Сравнение с рис. 8,а и рис. 10,а позволяет наглядно оценить степень влияния центрального экранирования зрачка на контраст полученного изображения. Так, например, для пространственной частоты 20 лин/мм представленный линзовый объектив передаёт изображение с контрастом вдвое большим, чем зеркально-линзовый объектив рис. 3,а с аналогичными фокусным расстоянием и относительным отверстием. Однако по разрешающей способности объектив рис. 9 незначительно превосходит линзовый объектив рис. 7, кроме того, дисторсия зеркально-линзовой системы значительно меньше.

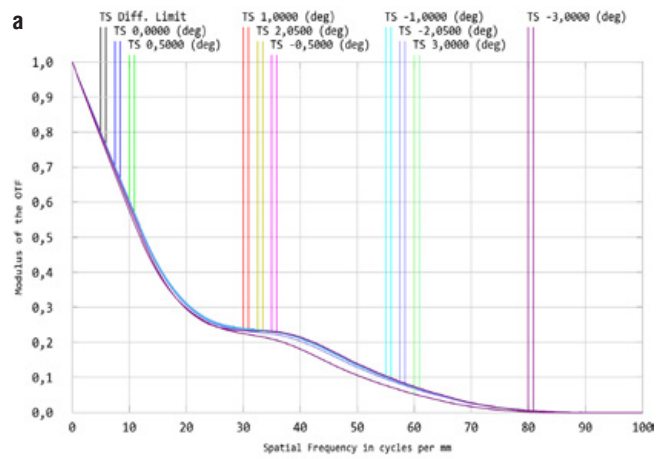
Существует возможность построения компактных оптических систем (такие системы часто нужны в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазоне) с умеренной и малой светосилой (1:10 и менее). Пример такой системы с диаметром апертуры 140 мм и относительным отверстием 1:10 проиллюстрирован на рис. 11. Угловое поле зрения составляет 0.7°. Длина вдоль оптической оси составляет всего 90 мм, а в сочетании с малогабаритным линзовым корректором общая масса объектива незначительна. Несмотря на



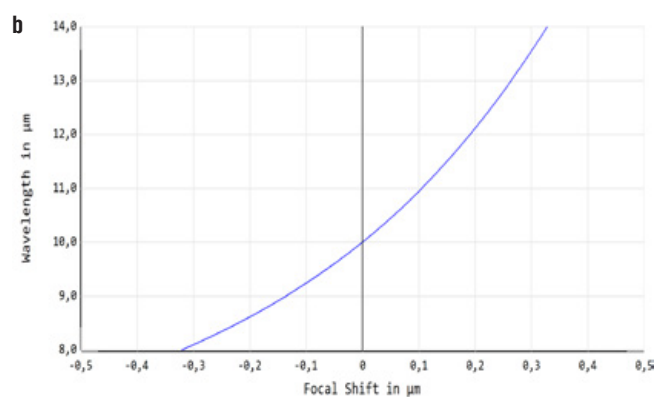
10.03.2018
Total Axial Length: 115,00000 mm
Zemax
Zemax OpticStudio 1

Рис. 9. Оптическая схема компактного светосильного (1:1.4) зеркально-линзового объектива для работы в среднем инфракрасном диапазоне

Fig. 9. The optical scheme of a fast (1:1.4) catadioptric compact objective for middle IR spectral range



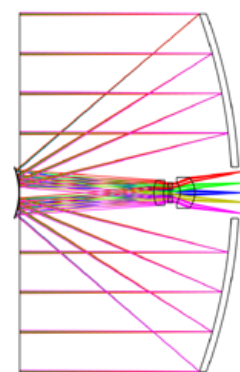
10.03.2018
Data for 8,0000 to 14,0000 μm.
Surface: Image
Zemax
Zemax OpticStudio 17



10.03.2018
Maximum Focal Shift Range: 0,6407 μm
Diffraction Limited Range: 78,475 μm
Zemax
Zemax OpticStudio 17

Рис. 10. Графики полихроматической функции передачи модуляции (а), продольной хроматической aberrации (б) для оптической системы рис. 9

Fig. 10. Plot of a polychromatic modulation transfer function (a), longitudinal chromatic aberration (b) for fig. 9 optical system



10.03.2018
Total Axial Length: 90,00000 mm
Zemax
Zemax OpticStudio 18.1

Рис. 11. Оптическая схема двухзеркального компактного объектива с линзовым корректором и диаметром апертуры 140 мм

Fig. 11. The optical scheme of a two-mirrors compact objective with lens corrector and 140 mm aperture diameter

сложный ход лучей в корректоре aberrаций, хроматизм системы мал и не влияет на качество изображения (рис. 12,а), дисторсия объектива также близка к 0, что иллюстрирует рис. 12,б.

В отдельных случаях, когда требуется, например, широкий рабочий спектральный диапазон, отсутствие паразитных бликов, высокие радиационные нагрузки, бывают востребованы сложные многозеркальные объективы, в том числе, светосильные с большим полем зрения. На рис. 13 показана оптическая система светосильного (1:2) четырёхзеркального объектива, разработанного автором в 1987 году (*объектив с подобными характеристиками представлен впервые в мире*). В данном случае диаметр апертуры составляет 140 мм и угловое поле зрения 2°. Центральное экранирование системы не превышает 10% по площади, что делает его отрицательный вклад на контраст изображения минимальным. Точечные диаграммы рис. 14,а показывают высокое, равномерное качество изображения по всему полю, ограниченное дифракцией. Объектив свободен от всех монохроматических aberrаций (число Штреля на длине волны 546 нм превышает 0.98 по всему полю), включая дисторсию, сверхнизкое значение которой иллюстрирует рис. 14,б. Точечные диаграммы рис.14,а были получены для расчёта оптической системы только

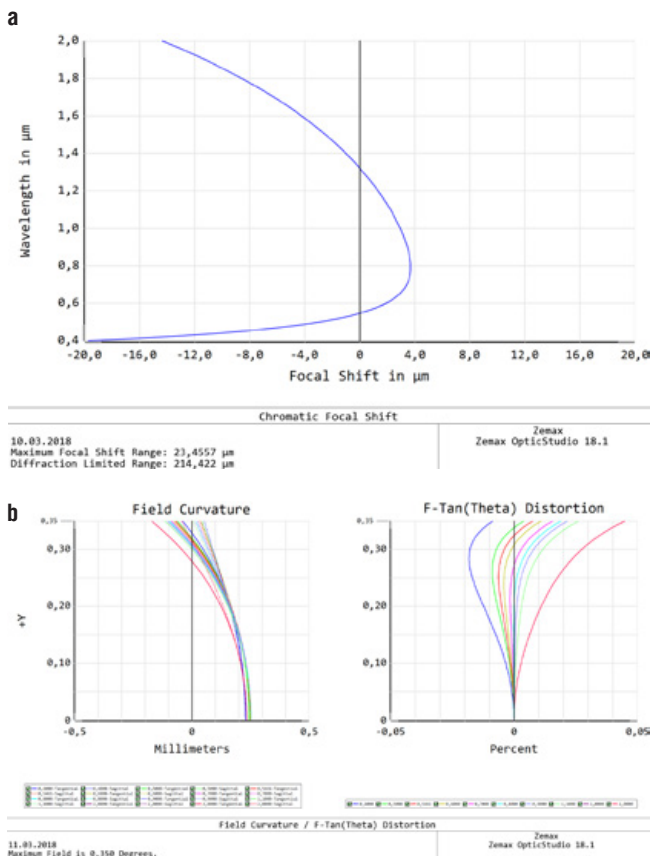


Рис. 12. Графики продольной хроматической aberrации (а), кривизны поля и дисторсии (б) объектива рис. 11
 Fig. 12. Plot of a longitudinal chromatic aberration (a), field curvature and distortion (b) for fig. 11 optical system

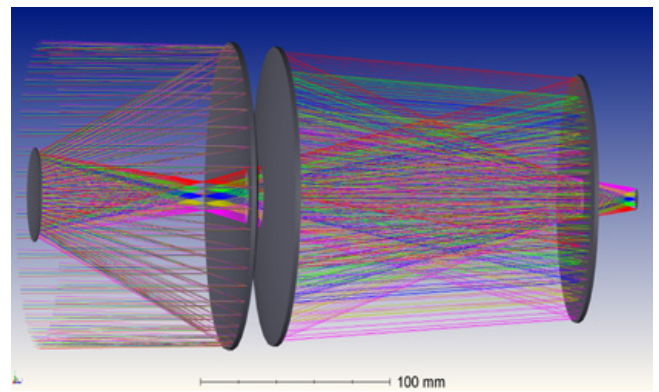


Рис. 13. Оптическая схема светосильного (1:2) четырёхзеркального объектива с увеличенным углом поля зрения и дифракционным качеством изображения по всему полю
 Fig. 13. The optical scheme of a fast (1:2) 4-mirrors objective with extended field of view and diffraction limited of a image quality on all field

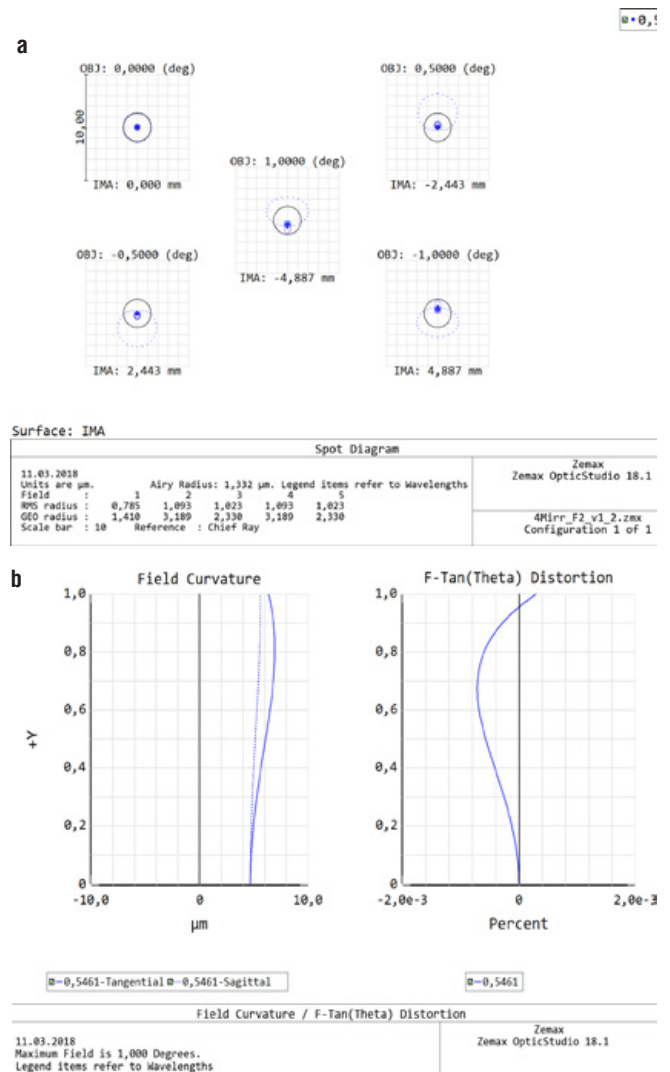


Рис. 14. Точечные диаграммы (а), графики кривизны поля и дисторсии (б) объектива рис. 13
 Fig. 14. The spot diagrams (a), plots of a field curvature and distortion (b) for fig. 13 optical system

с поверхностями второго порядка. При необходимости (например, для масштабирования системы на больший диаметр апертуры или увеличения относительного отверстия) возможно дальнейшее улучшение качества изображения путём введения асферических поверхностей высших порядков. Так, например, аналогичный рис. 13 четырёхзеркальный объектив с относительным отверстием 1:1 обладает центральным экранированием всего около 10% по площади и аналогичным рис.14,b сверхнизким значением дисторсии. Качество изображения также стало значительно лучше, что иллюстрирует точечная диаграмма рис. 15.

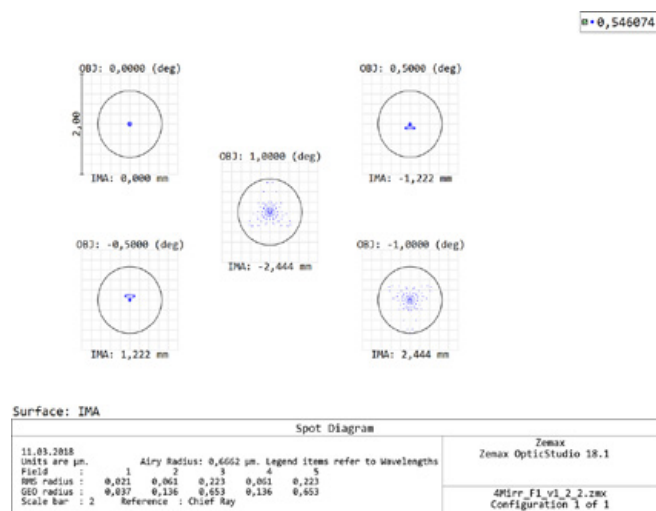


Рис. 15. Точечные диаграммы для сверхсветосильного (1:1) четырёхзеркального объектива с архитектурой оптической системы, аналогичной рис. 13

Fig. 15. The spot diagrams for a superfast (1:1) 4-mirrors objective with optical architecture similar to fig. 13

Все представленные в данной работе результаты не предназначены для прогнозирования развития какой-либо архитектуры оптической системы в зависимости от исходных данных (хотя частично данная возможность существует). Любые изменения в исходных данных для расчёта оптических систем телескопов могут изменить не только базовую архитектуру оптической системы (количество линз, зеркал, их расположение и т.д.), но и повлиять на саму возможность создания приемлемых решений в указанных габаритах.

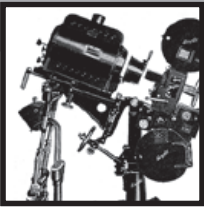
Все расчёты проводились по авторской методике [6] и компьютерной программе, а также в программе Zemax OpticStudio 18.1 Premium, лицензия на которую принадлежит автору.

Заключение

Рассмотренные в данной работе схемы относятся к категории оптимальных оптических систем (представляют собой идеальное решение для данной постановки задач) и не могут быть улучшены без ухудшения других характеристик. Были рассмотрены лишь некоторые объективы с наиболее интересными архитектурами оптических систем. Технически возможно построение систем с более высокой разрешающей способностью и аналогичными габаритами (входная апертура некруглого сечения, в том числе, несимметричные варианты), однако конструктивно они более сложны (например, может нарушаться ограничение по массе), и их исследование выходит за рамки данной работы. Дальнейшее развитие систем объективов космического применения возможно только одновременно с развитием как технологий производства облегчённых оптических компонентов высокого качества, так и систем регистрации и аппаратной обработки изображений. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Milton Laikin, "Lens Design", Fourth Edition, CRC Press 2006.
2. Rudolph Kingslake, R. Barry Johnson: Lens Design Fundamentals, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2010.
3. Nagata Y. (2004) The Lens Design Using the CMA-ES Algorithm. In: Deb K. (eds) Genetic and Evolutionary Computation – GECCO 2004. GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3103. Springer, Berlin, Heidelberg.
4. Julie Beaulieu, Christian Gagn'e, Marc Parizeau, Lens System Design and Re-Engineering with Evolutionary Algorithms / Proc. of GECCO 2002, July 9–13, New York.
5. M. van Turnhout, P. van Grol, F. Bociort, and H.P. Urbach, Obtaining new local minima in lens design by constructing saddle points, Opt. Express 23, 6679–6691 (2015).
6. Бирючинский С.Б. Моделирование и оптимизация архитектуры оптических систем для современного кинематографа / Мир Техники Кино. – 2015–3(9).
7. Elvira Rachim et al, Preliminary of Optical Lens Design for Micro-Satellite, 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 54 012095.
8. Ho Jin et al, Optical Design of a Reflecting Telescope for CubeSat. Journal of the Optical Society of Korea 17(6), 2013.
9. Патент РФ: № 2443005 (2012).
10. Патент РФ: № 2584382 (2016).



Дополненная реальность: ВИДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ



■ Д.Г. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru, заведующий лабораторией кинопроекции и новых видов зрелищ, Филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО ТПО «Киностудия им. М.Горького», РФ

Аннотация

В статье рассмотрены существующие технологии «дополненной реальности» (Augmented reality, AR) и их виды, приведена их классификация. Проанализированы технологические особенности и возможности практического применения различных видов систем отображения «дополненной реальности» и применяемые в них технические способы и методы формирования изображения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, дополненная виртуальность, смешанная реальность, ретинальный дисплей, очки дополненной реальности, нашлемная система индикации (НСИ), шлем виртуальной реальности, объемное изображение, индикатор на лобовом стекле (ИЛС), пространственно дополненная реальность.

■ Дополненная реальность (augmented reality, AR) предполагает создание дополнительных искусственных (виртуальных) элементов, которые встраиваются в воспринимаемый окружающий мир, создавая общее объемное пространство. Существенным и принципиальным отличием дополненной реальности от виртуальной (virtual reality, VR), является первичная и определяющая роль именно реального мира – «дополняющие»

AUGMENTED REALITY: TYPES AND TECHNOLOGIES OF IMAGE FORMATION

D. Chekalin, chekalinnikfi@mail.ru, Head of Laboratory of film projection and new types of shows. Cinema and Photo Research Institute JSC "Gorky Film Studio", Russia

Abstract

The article considers the existing technologies of "augmented reality" (AR) and their types, their classification is given. The technological features and possibilities of practical application of different types of "augmented reality" display systems and the technical methods and methods of image formation used in them are analyzed.

Keywords: virtual reality (VR), augmented reality (AR), augmented virtuality (AV), mixed reality (MR), virtual retinal display, eyeglasses, helmet mounted display, head-mounted display (HMD), three-dimensional image, head-up display (HUD), spatial augmented reality (SAR).

его созданные элементы воспринимаются именно как дополнительные и несут второстепенную функцию. И если в виртуальной реальности наблюдатель погружен в полностью синтезированный искусственный мир, в котором возможно воссоздание привычных для нас или моделирование новых измененных физических законов и принципов взаимодействия между объектами, включая геометрию пространства и причинно-следственные

связи, то в системах дополненной реальности реальный мир остаётся неизменным и системообразующим. Дополненная реальность предусматривает воздействие не только на зрение, но также и на другие органы чувств. Технические системы дополненной реальности включают в себя, в зависимости от назначения и используемой технологии, разнообразные технологические компоненты: устройство отображения информации, устройства видеозахвата изображения, контроллеры, различные датчики (положения, слежения, и т.д.), разнообразные компьютерные компоненты, программное обеспечение. В данной работе рассматриваются вопросы, связанные только с визуализацией и формированием изображения.

Терминология и классификация

Термин «дополненная реальность» является одним из вариантов перевода английского словосочетания augmented reality (AR), также встречаются варианты перевода «расширенная реальность» и «обогащённая реальность». Более точно по смыслу соответствует вариант «дополненная реальность», который к настоящему времени получил наибольшее распространение и стал наиболее востребованным и применяемым в русскоязычной литературе.

Иногда в качестве синонима применяют термины «смешанная реальность» и «гибридная реальность», что не вполне корректно, так как они соответствуют и являются переводом совсем другого английского термина mixed reality (MR), который является более общим понятием и включает в себя «дополненную реальность» как составную часть. Понятия «дополненная реальность» и «виртуальная реальность» не охватывают весь возможный спектр синтеза виртуальных технологий с реальным миром. Поэтому в 1994 году Пол Милграм (Paul Milgram) и Фумио Кишино (Fumio Kishino) описали слияние реальных и виртуальных миров в виде «континуума виртуальности» [1], который соединяет полностью реальный окружающий мир с полностью виртуальным, и обозначили этот континуум термином mixed reality (MR). Кроме «дополненной реальности», являющейся реальным миром с некоторыми элементами виртуального, по аналогии, была дополнительно введена «дополненная виртуальность»

(augmented virtuality, AV), определяющая полностью виртуальное пространство с присутствующими в нём элементами реального мира. «Континуум виртуальности», таким образом, является плавной шкалой для описания взаимопроникновения друг в друга двух миров – реального и виртуального, совокупность которых составляет «смешанную реальность» (рис. 1).

Непосредственно термин «augmented reality» впервые предложил исследователь корпорации Боинг Том Коудел (Tom Caudell), который в целях упрощения работ по сборке узлов самолёта Boeing 747 разработал специальные очки, в которых для пользователя индивидуально отражалась необходимая технологическая информация. Результаты работы, начатой в 1990 году, были изложены в 1992 году в статье «Дополненная реальность: применение наголовных дисплеев в неавтоматизированных производственных процессах» [2], в которой и появился новый термин. Однако технологии создания изображения, которые вполне можно определить как «дополненную реальность», появились значительно раньше – задолго до электронной эпохи. Первые устройства, позволяющие демонстрировать «дополненную реальность», были известны ещё в 19 веке и применялись в различного рода аттракционах и театральных постановках, а к середине 19 века получили достаточно широкое распространение в Европе. В основном применялась проекция на различные полупрозрачные экраны или дым, в более сложных системах использовалось отражение полупрозрачными частично отражающими поверхностями реальных предметов или рисунков с целью создания оптических эффектов и иллюзий, например, призраков или приведений. Лучшие образцы устройств позволяли совмещать на одной сцене полноразмерные призрачные изображения

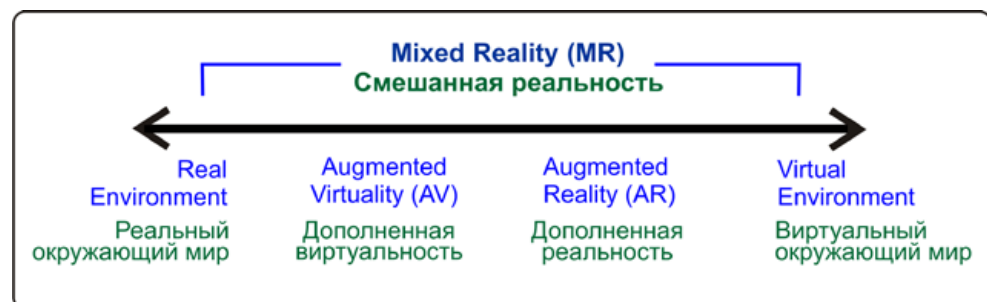


Рис. 1. Упрощённое представление «континуума виртуальности»



Рис. 2. Первые устройства с «дополненной реальностью»

и живых актёров (рис. 2). В театральной практике в 60-х годах 19 века была успешно применена технология с полупрозрачной поверхностью профессором Джоном Генри Пеппером и английским инженером Генри Дирксом, которая получила название, связанное с именем Pepper's Ghost, далее при использовании проекционной технологии также применялось название «скрытый экран» [3].

Начиная с 1970-х годов, технологии «дополненной реальности» активно развиваются и внедряются в военных разработках для пилотирования авиационной техники. Начиная с двухтысячных годов, уровень развития компьютерных технологий и их широкая доступность в совокупности с появлением новых программных алгоритмов сделали возможным распространение дополненной реальности в самые широкие и разнообразные сферы человеческой деятельности.

Устройства визуализации дополненной реальности представляют собой системы для формирования дополнительного виртуального изображения на оптическом пути между реальными физическими объектами и глазами наблюдателя и состоят из комплекса оптических, электронных и механических компонентов для создания изображений. Системы дополненной реальности включают в себя очень широкий спектр самых разнообразных устройств, различающихся как по применяемым технологиям, так и по функциональному назначению, поэтому их классификация возможна по различным существенным признакам, функциональным и эксплуатационным характеристикам, способу применения и т.д. В первую очередь, стоит отметить деление всех устройств, в зависимости от условий наблюдения, на две общие большие группы: устройства только для индивидуального применения и системы для коллективного пользования, когда одно и то же изображение одновременно могут наблюдать несколько человек. Другим вариантом классификации является классификация по способу оптического совмещения реального и дополнительного виртуального изображения, состоящая из трёх подгрупп:

1) Совмещение путём преобразования реального изображения в электронное и его видеомикширование с виртуальным изображением в единую картину.

Объединение виртуального и реального изображений происходит полностью в электронной форме. Реальное изображение захватывается камерой и преобразуется в цифровой вид, виртуальное изображение генерируется в цифровом виде на основе анализа захваченного изображения, после чего два цифровых видеопотока микшируются, и итоговое изображение выводится для наблюдателя на электронном экране. Недостатком способа является отсутствие возможности прямого непосредственного наблюдения реального пространства. Для получения изображения необходим специальный электронный экран и средства захвата изображения. При наблюдении существует задержка по времени, возникающая в процессе захвата изображения, его обработки и вывода на экран. К достоинствам можно отнести более

широкие возможности по внедрению виртуальных объектов в изображение пространства реального мира и возможность создания систем синтезированного зрения. Возможно создание систем для коллективного пользования одновременно большим количеством наблюдателей.

2) Смешивание и оптическое совмещение двух световых потоков с помощью специальных оптических устройств (светоделительные и/или фокусирующие элементы, прозрачные электронные экраны и т.д.).

Существенным недостатком способа, не решённым на текущий момент, является отсутствие возможности точного совмещения виртуальных объектов с реальным пространством по всей его глубине, для бинокулярного зрения происходит нарушение связи аккомодации и конвергенции. Предложенные автостереоскопические и коллиimatorные системы позволяют частично решить эту задачу, но с определёнными ограничениями по условиям наблюдения и пространственным размерам.

3) Внедрение виртуальных изображений в реальное пространство для прямого наблюдения (проекция на элементы среды, размещение прозрачных экранов, лазерная генерация изображения в пространстве).

Реальное и виртуальное изображения наблюдаются непосредственно глазами в реальном пространстве без промежуточных оптоэлектронных устройств. Возможно создание систем для коллективного пользования одновременно большим количеством наблюдателей. Достигается наибольшая степень достоверности наблюдаемого изображения, обеспечиваются комфортные условия для бинокулярного зрения, но для реализации требуется стационарное оборудование.

Наиболее распространённой и функциональной является классификация по месту расположения устройства относительно наблюдателя и реального объекта и технологии создания изображения [4], схема вариантов расположения приведена на рисунке 3. В различных видах устройств изображение «дополненной реальности» может проецироваться непосредственно на сетчатку глаза и на сами объекты реального мира, а также демонстри-

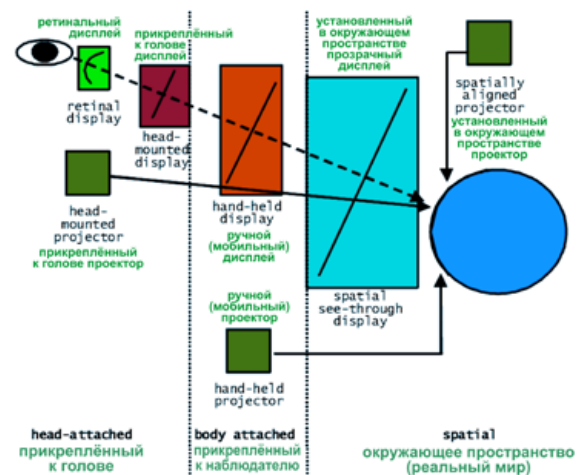


Рис. 3. Схема способов формирования изображений в устройствах дополненной реальности

роваться на различного рода прозрачных экранах или оптоэлектронных устройствах, расположенных в пространстве между наблюдателем и реальными объектами. Виды устройств в соответствии с такой классификацией представлены в таблице 1.

Табл. 1. Классификация устройств формирования изображений (дисплеев) дополненной реальности

<p>1. Дисплей, прикрепляемый к голове /наголовный дисплей/. Head-Attached Displays</p> <p>1.1 Ретинальный дисплей. Virtual retinal display (VRD)</p> <p>1.2 Очки дополненной реальности. Eyeglasses</p> <p>1.3 Нашлемный дисплей /нашлемная система индикации (НСИ)/. Helmet mounted display</p> <p>1.4 Шлем виртуальной реальности с видеокамерами. A head-mounted display (HMD)</p>
<p>2. Дисплей с фиксированным положением /индикатор на лобовом стекле (ИЛС)/. Head-up display (HUD)</p>
<p>3. Ручной дисплей /мобильный дисплей/. Hand-Held Displays</p>
<p>4. Пространственно дополненная реальность. Spatial augmented reality (SAR)</p> <p>4.1 Экранные дисплеи с электронным микшированием</p> <p>4.2 Экранные прозрачные дисплеи</p> <p>4.3 Проекция на элементы среды</p> <p>4.4 Пространственные оптические дисплеи</p>

Виды устройств «дополненной реальности» и способы формирования изображения

1. Дисплей, прикрепляемый к голове /наголовный дисплей/. Head-Attached Displays

В устройствах этого вида все элементы системы размещаются непосредственно на голове пользователя. Такие устройства компактны и обладают высокой мобильностью, однако имеют и характерные недостатки: только индивидуальное применение (устройство индивидуального пользования), ограничения по углу обзора и разрешению, «симуляторная болезнь» при быстрых движениях головы вследствие задержки отображаемого синтезируемого видеосигнала, эргономические ограничения и дополнительный дискомфорт для пользователя, и пр. Разрабатываются устройства с монокулярным и бинокулярным способом отображения информации. В данном виде устройств принципиально возможно применение четырёх различных способов отображения изображения: прямая проекция изображения на сетчатку глаза, проекция изображения на элементы окружающей среды или специальные экраны прикреплённым к голове миниатюрным видеопроектором, размещение перед глазами прозрачных видеоэкранов (или специальных оптических устройств со светоделителями), частично отражающими и частично пропускающими свет, за счёт чего можно одновременно видеть окружающий мир и изображение, формируемое видеодисплеем) и полностью

непрозрачные электронные дисплеи, демонстрирующие смешанное (микшированное) виртуальное и полученное от видеокамер реальное изображение (рис. 4).

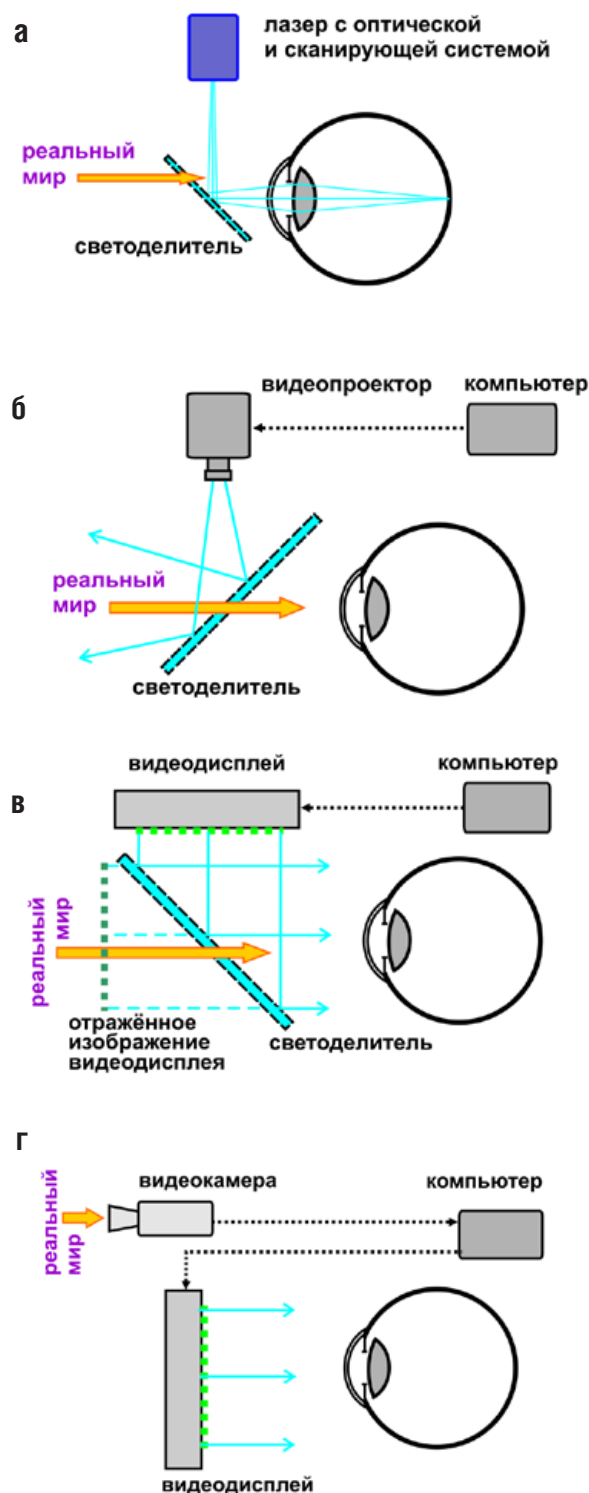


Рис. 4. Схемы дисплеев, прикрепляемых к голове:
а – проекция изображения на сетчатку глаза;
б – проекция проекторами, прикреплёнными к голове;
в – дисплеи с прозрачными светоделителями (комбайнерами);
г – дисплеи с непрозрачными электронными экранами с микшированным видеоизображением

1.1 Ретинальный дисплей. *Virtual retinal display (VRD)*

В англоязычной литературе для данного устройства наиболее распространённым термином является *virtual retinal display (VRD)*, также употребляются и *retinal projector (RP)* или *retinal scan display (RSD)*. В русскоязычной литературе нет устоявшегося общеприменимого термина, встречаются: ретинальный дисплей, виртуальный ретинальный монитор, система с построением изображения на сетчатке глаза и др. [5,6].

Ретинальный дисплей (VRD) – это персональное устройство отображения, в котором изображение формируется непосредственно на сетчатке глаза методом сканирования (построчной развёртки) маломощным модулированным лазерным лучом сквозь хрусталик. Разработки ведутся с конца 1990-х годов, в основном, в США в Университете им. Вашингтона (Сиэтл) и в Японии (рис. 5).



Рис. 5. Ретинальный дисплей, размещённый на оправе очков фирмы Brothers Industries, LTD (Япония)

Схема работы VRD иллюстрируется на рисунке 6. Излучение лазерного диода (или трёх лазерных диодов в случае цветного изображения) проходит через модулятор, который управляет уровнем яркости и цветом выходного светового сигнала. Модулированный свет поступает к горизонтальному и вертикальному сканерам, после чего оптический блок (выходной зрачок которого согласован с входным зрачком глаза) проецирует сканирующий луч прямо на сетчатку глаза, интенсивность и цветность излучения модулируются при сканировании в соответствии с необходимой величиной в каждой точке.

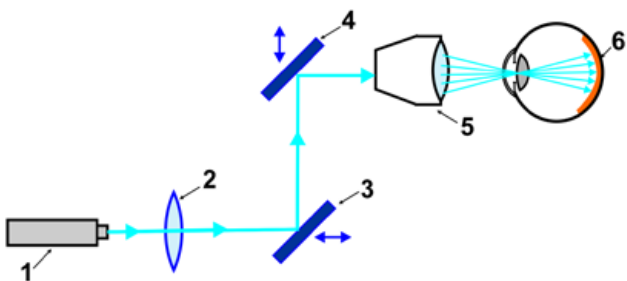


Рис. 6. Схема ретинального дисплея: 1 – лазер, управляемый модулятором, 2 – линза, 3 – горизонтально сканирующее зеркало, 4 – вертикально сканирующее зеркало, 5 – окуляр, 6 – сетчатка глаза

Большой интерес к устройствам этого типа проявляет военно-аэрокосмический комплекс США. В 1999 году фирмой Microvision был представлен действующий монохромный прототип (рис. 7). Устройство выполнено на базе серийного шлема HGU56/P. Характеристики устройства были следующими: лазерное монохромное изображение зелёного цвета яркостью 5140 кд/м² с полем зрения 52°x30° и перекрывающейся бинокулярной зоной 30°, разрешающая способность для каждого глаза 1355x960, масса – 2,4 кг.

Достоинствами этих дисплеев являются: высокое пространственное разрешение, возможность проецирования больших полей пространства с большими углами обзора без оптических искажений на краях изображения, высокая яркость и контрастность. Дисплеи могут применяться в условиях больших внешних засветок.

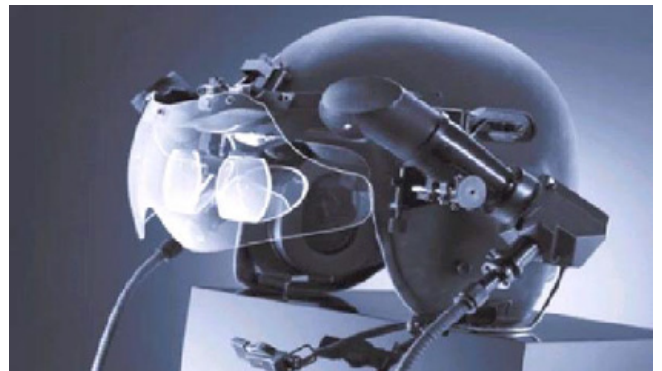


Рис. 7. Прототип VRD фирмы Microvision 1999 г.

1.2 Очки дополненной реальности. *Eyeglasses*

Очки дополненной реальности представляют собой компактное устройство с полупрозрачными стёклами или оптическими элементами, которые обеспечивают свободное прямое прохождение световых лучей и сквозь которые хорошо видно окружающее реальное пространство. При этом одновременно можно видеть и «наложенное» на реальное изображение синтезированное цифровое изображение. Существует два способа создания изображения для устройств данного вида: разместить перед глазами прозрачное устройство с подмешиваемым синтезированным изображением, или разместить на голове миниатюрные видеопроекторы, которые и будут проецировать изображения «дополненной реальности» на предметы реального окружающего пространства, специальные отражающие экранные поверхности, или с помощью системы полупрозрачных зеркал, перенаправляющих луч на имеющиеся в помещении стационарные поверхности, например, потолок [7,8]. Наголовные проекционные дисплеи (*head-mounted projective displays, HMPDs*) оказались неудобны и имеют ограниченные возможности, поэтому работы над ними ограничились созданием экспериментальных образцов и прототипов (рис. 8).

Очки «дополненной реальности» со светопропускающими светоделителями или комбайнерами (от английского *combiner*), в которых синтезированное изобра-

жение накладывается на реальное, разрабатываются и выпускаются серийно в различных модификациях и с различными функциональными возможностями, от достаточно простых моноскопических вариантов (рис. 9) до моделей с несколькими (пятью и более) встроенными видекамерами для отслеживания перемещения и глубины пространства, например, Epson Moverio (рис. 10), Microsoft HoloLens (рис. 11).

Существующие образцы пока несовершенны и имеют много недостатков, связанных с быстродействием, качеством изображения и т.д. С развитием технологии большинство недостатков может быть устранено, но наиболее сложной является проблема фиксированного фокуса, или задача совмещения в пространстве виртуального изображения с реальным на разных расстояниях от наблюдателя. Существующие модели могут сфокусировать изображение виртуального объекта на каком-то одном фиксированном расстоянии, когда наблюдатель

переводит точку фиксации взгляда ближе или дальше этого объекта – он расфокусируется. В стереоскопических системах управлять дистанцией до объекта можно путём изменения горизонтальных параллаксов для двух изображений стереопары, однако за счёт механизмов аккомодации будет заметно размещение всех виртуальных объектов в одной плоскости. Ведутся работы по созданию механизмов динамического управления фокусировкой по отслеженному положению глаз наблюдателя, но это, к сожалению, тоже не сможет полностью решить проблему, например, в случае наблюдения одновременно нескольких виртуальных объектов, расположенных на разных дистанциях.

1.3 Нашлемный дисплей /нашлемная система индикации (НСИ)/. *Helmet mounted display*

Нашлемный дисплей в английском варианте называется *Helmet mounted display*, отечественным аналогом является нашлемная система индикации (НСИ), или нашлемная система целеуказания и индикации (НСЦИ). Первая в мире серийно выпускаемая нашлемная система целеуказания «Щель» появилась на советских истребителях МиГ-29 и Су-27 в начале 1980-х годов [4]. Устройство называется нашлемным дисплеем, так как встраивается в качестве дополнительного устройства отображения информации в специализированные шлемы с определённым функциональным назначением, при этом часть элементов системы в некоторых случаях может монтироваться отдельно от собственно шлема и подсоединяться к нему кабелями или по беспроводной связи. Система подразумевает установку перед глазами пользователя специального прозрачного или частично прозрачного экрана (защитного козырька), на котором отображается видеoinформация в монокулярном или бинокулярном варианте и который позволяет свободно видеть окружающее пространство. Отображаемое изображение специальной оптической системой коллимируется в бесконечность. Это делается для того, чтобы лётчику не приходилось постоянно перефокусировать зрение при переключении внимания с объекта в пространстве на показания экрана и было возможно одновременное



Рис. 8. Прототипы наголовных проекционных дисплеев (*head-mounted projective displays, HMPDs*)

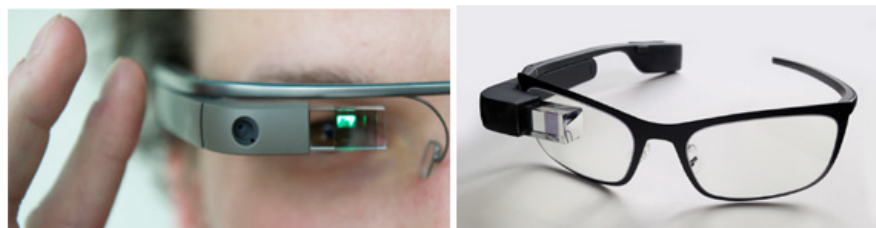


Рис. 9. Монокулярные очки дополненной реальности *Google Glass*



Рис. 10. Очки дополненной реальности с пультом управления *Epson Moverio Pro BT* и пример их применения



Рис. 11. Очки дополненной реальности *Microsoft HoloLens*

наблюдение информации с экрана и внешней обстановки. Устройство снабжено специальными датчиками, определяющими положение устройства в пространстве, поэтому при повороте или наклоне головы отображаемое на шлемной системе изображение перестраивается в соответствии с положением глаз. Постоянно разрабатываются новые, более совершенные модификации, основанные на новейших технологиях и учитывающие изменяющуюся специфику их применения (рис. 12) [9].

Последние модификации устройств оснащают системой синтезированного зрения, которая позволяет пилоту видеть в темноте в ночное время или «сквозь» стены летательного аппарата реальное окружающее пространство, что очень важно при ведении боя или сложном маневрировании и посадке. Для этого используется информация, получаемая от внешних датчиков изображения (в том числе, и не оптического диапазона), обрабатываемая специальным вычислительным комплексом и отображаемая на шлемном дисплее. Эти принципы реализованы в новейших разработках (рис. 13). В качестве внешних датчиков информации могут применяться: телевизионные видеодатчики различного разрешения, инфракрасные видеодатчики различных диапазонов, радары, лазерные локаторы. Такие возможности принципиально и качественно расширяют функционал устройств дополненной реальности, позволяя синтезировать и реконструировать реальность, которую человек иначе не мог бы увидеть, например, изображение в инфракрасном и даже радиодиапазоне. Нашлемные дисплеи стали практически неотъемлемым и обязательным элементом оборудования в современной военной авиации.



Рис. 12. Нашлемные системы целеуказания и индикации (helmet mounted display)



Рис. 13. Нашлемные системы целеуказания и индикации: система F-35 HMDS для самолёта истребителя Lockheed Martin F-35 («Локхид-Мартин» F-35 «Молния II»); российская бинокулярная система НСЦИ для боевых вертолётов Ми-28НМ «Охотник»; нашлемная система JHMCS (Joint Helmet Mounted Cueing System) компании Vision Systems International

1.4 Шлем виртуальной реальности с видеокамерами. Head-mounted display (HMD)

Шлем виртуальной реальности в англоязычной литературе имеет название Head-mounted display. Не стоит путать его с Helmet mounted display, англоязычная аббревиатура у них одинакова – HMD, но это функционально разные устройства. Данный тип устройств отличается от рассмотренных до этого нашлемных дисплеев тем, что выполнен не в виде функционального дополнения к какому-либо профилированному профессиональному защитному шлему, а изначально спроектирован как автономное самостоятельное устройство, единственной задачей которого является создание изображения дополненной реальности. При этом он не выполняет никаких дополнительных совмещённых функций (например, шлем лётчика выполняет защитную функцию, имеет устройство подачи кислорода, системы связи и т.д.). Шлем, в отличие от очков, не позволяет непосредственно видеть окружающее пространство и в этом смысле не является оптически прозрачным. Изображение отображается на электронных дисплеях методом микширования электронных видеосигналов сгенерированного виртуального изображения и электронного изображения реального мира, полученного от видеокамер. Может быть выполнен на базе шлема виртуальной реальности, дополнительно оснащённого видеокамерами.

2. Дисплей с фиксированным положением /индикатор на лобовом стекле (ИЛС)/. Head-up display (HUD)

Дисплей с фиксированным положением представляет собой прозрачный дисплей, который формирует изображение для пользователя, находящегося в стационарном неподвижном положении с фиксированной точкой зрения.

В англоязычной литературе обозначается как Head-up display (HUD), а в отечественной известен как индикатор на лобовом стекле (ИЛС). Название отражает функциональное назначение устройства – видеть всю необходимую информацию, не отрывая взгляд от наблюдаемого объекта, не переводя каждый раз взгляд на панель с приборами и обратно (рис. 14). Первоначально был разработан для военной авиации, сейчас также используется в гражданской авиации и автотранспорте. Дисплей может отображать приборную панель, карту местности и другую необходимую информацию. Помимо оптического совмещения в направлении взгляда реальной информации с наблюдаемым реальным изображением, устройства обычно снабжены дополнительной оптической системой, фокусирующей создаваемое изобра-

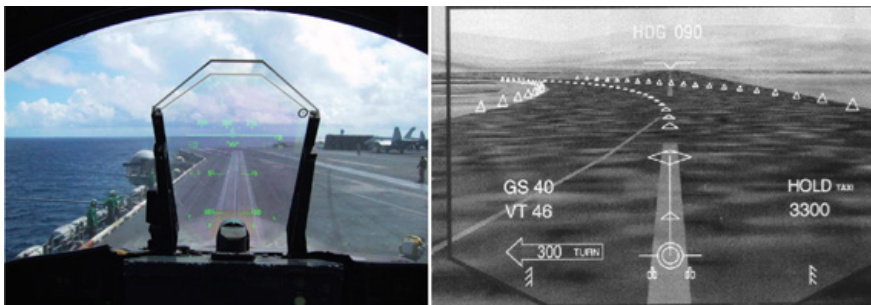


Рис. 14. Вид на ИЛС со стороны пилота и информация, отражаемая при движении самолёта по полосе

жение в бесконечности. Это значительно снижает утомляемость зрительной системы пилота, которому в этом случае не нужно перефокусировать взгляд, глядя на приборы.

В устройствах ИЛС применяются три основных варианта оптической схемы (рис. 15) [6]. Наиболее распространёнными являются устройства рефрактивного типа. В таких устройствах линзовый объектив через зеркало проецирует изображение с экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с фокусировкой в бесконечности в сторону полупрозрачного светоделительного зеркала или плоского комбайнера (combiner), который отражает в сторону глаз пилота проецируемый световой поток от ЭЛТ и комбинирует его с проходящим сквозь него светом от внешнего пространства. В таких устройствах размер поля зрения определяется и ограничивается размерами (диаметром) линзового объектива. Более эффективными являются схемы катадиоптрического типа с параболическим или сферическим комбайнером, который в этом случае называют силовым (power combiner). Сферические комбайнеры вносят оптические искажения, но проще в изготовлении и дешевле параболических. Линзовый объектив проецирует промежуточное несконцентрированное изображение через плоское зеркало, которое служит для излома оптической оси с экрана ЭЛТ в переднюю фокальную поверхность силового комбайнера, который проецирует это изображение в бесконечность, направляя сконцентрированные пучки лучей в глаза пилота. Иногда применяется вариант схемы катадиоптрического типа – вместо обычного применяется полу-

прозрачное зеркало, размещённое между силовым комбайнером и глазами пилота, в этом случае такое зеркало становится вторым комбайнером (плоским) и сначала отражает лучи от ЭЛТ в сторону силового комбайнера, а затем пропускает отражённый от него сконцентрированный пучок и свет от внешнего пространства в сторону глаз пилота.

В самолётах гражданской авиации также применяются ИЛС, практикуется размещение оптической системы в верхней части кабины, над головой пилота.

3. Ручной дисплей /мобильный дисплей/. Hand-Held Display

Ручными дисплеями являются электронные устройства, которые могут воспроизводить на собственном экране видеоизображение. Они снабжены достаточно мощным процессором, видеокамерой и набором необходимых сенсоров, и пользователь при этом может держать их в руках. К таким устройствам относятся: планшетные ПК, некоторые смартфоны и КПК. При наличии специального программного обеспечения изображение, получаемое от собственной видеокамеры устройства, может дополняться сгенерированным по определённой программе, и это совмещённое изображение выводится на экран. Возможно создание оптически прозрачных устройств, например, на основе ЖК технологий. Большинство современных мобильных устройств обладает всеми необходимыми технологическими возможностями, что позволяет применять технологии дополненной реальности в массовом порядке, примером такого применения является выпущенная в 2016 году в виде приложения для iOS и Android компьютерная многопользовательская игра Pokemon Go, быстро ставшая одним из самых массовых и популярных приложений. Данное направление развития технологий «дополненной реальности» можно считать одним из наиболее перспективных, так как необходимые технические средства общераспространены, требуется только программное обеспечение.

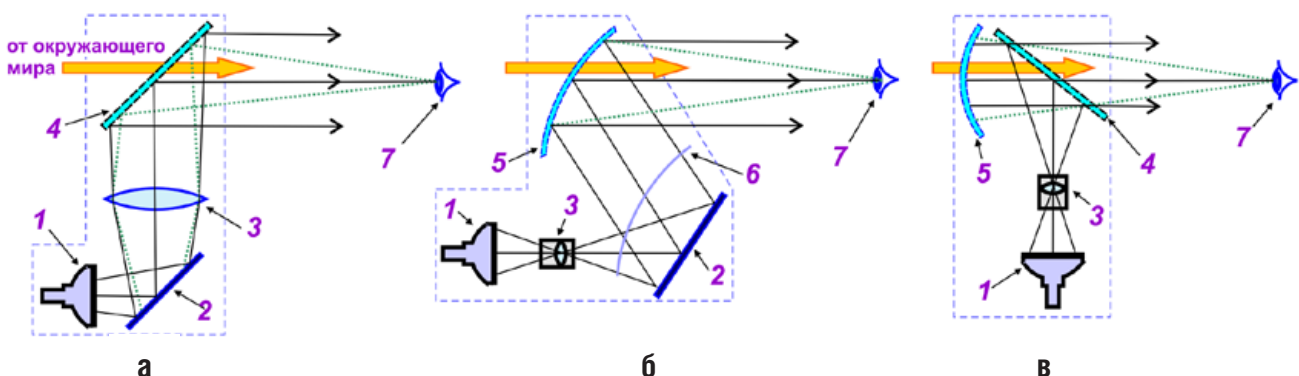


Рис. 15. Схема работы: а - рефрактивного индикатора, б - катадиоптрического индикатора, в - катадиоптрического индикатора с двумя комбайнерами. На схеме обозначены: 1 - ЭЛТ, 2 - зеркало, 3 - объектив, 4 - плоский комбайнер, 5 - силовой комбайнер, 6 - фокальная поверхность, 7 - расчётная точка наблюдения

4. Пространственно дополненная реальность. Spatial augmented reality (SAR)

Устройства пространственно дополненной реальности располагаются в окружающем пространстве как независимые элементы или интегрированы в него. В отличие от уже рассмотренных выше видов, такие устройства физически и механически не связаны с наблюдателем и являются автономными системами. Применяется четыре основных различных способа создания изображения «дополненной реальности»: демонстрация на непрозрачных экранах электронного смикшированного реального и виртуального изображения; размещение в реальном окружающем пространстве незаметных прозрачных экранов, на которых демонстрируются виртуальные изображения; проекция изображений виртуальных объектов на поверхности окружающих реальных предметов, объектов и ландшафта; применение специальных оптико-электронных устройств, позволяющих комбинировать в одном физическом пространстве реальные объекты и совмещённые с ними изображения виртуальных объектов, для чего могут применяться разного рода световые интеграторы, сумматоры и комбайнеры, зеркальные системы и т. д.

4.1 Экранные дисплеи с электронным микшированием

К этой группе устройств относятся светоизлучающие (или светоотражающие) непрозрачные видеоскраны, которые демонстрируют в реальном режиме времени изо-

бражение, переданное видеокамерой с подмешанным к нему дополнительным виртуальным изображением.

Наиболее интересными являются системы, предполагающие съёмку зрителей, становящихся участниками действия с «дополненной реальностью» [10]. Зрители, участвующие в действии, располагаются в специальной ограниченной пространственной зоне, в которой для усиления эффекта могут быть размещены декорационные элементы. Изображение из этой зоны фиксируется видеокамерой (или несколькими камерами и датчиками), далее обрабатывается видеопроцессором, где к нему дополнительно подмешивается сгенерированное (синтезированное или заранее записанное) изображение с элементами «дополненной реальности». Суммарное смикшированное изображение выводится на большой внешний экран, где, собственно, его уже могут видеть как сами участники, находящиеся в выделенной зоне с декорациями, так и все остальные зрители (рис. 16). В наиболее сложных системах предусмотрена возможность интерактивного взаимодействия наблюдателей с элементами и объектами «дополненной реальности», но результат этого взаимодействия можно наблюдать только на внешнем, вынесенном из зоны фиксации видеокамер, экране. Основным недостатком является возможность наблюдения «дополненной реальности» только в виде электронного экранного изображения, ограниченного пространственной локализацией экранного устройства и его размерами.

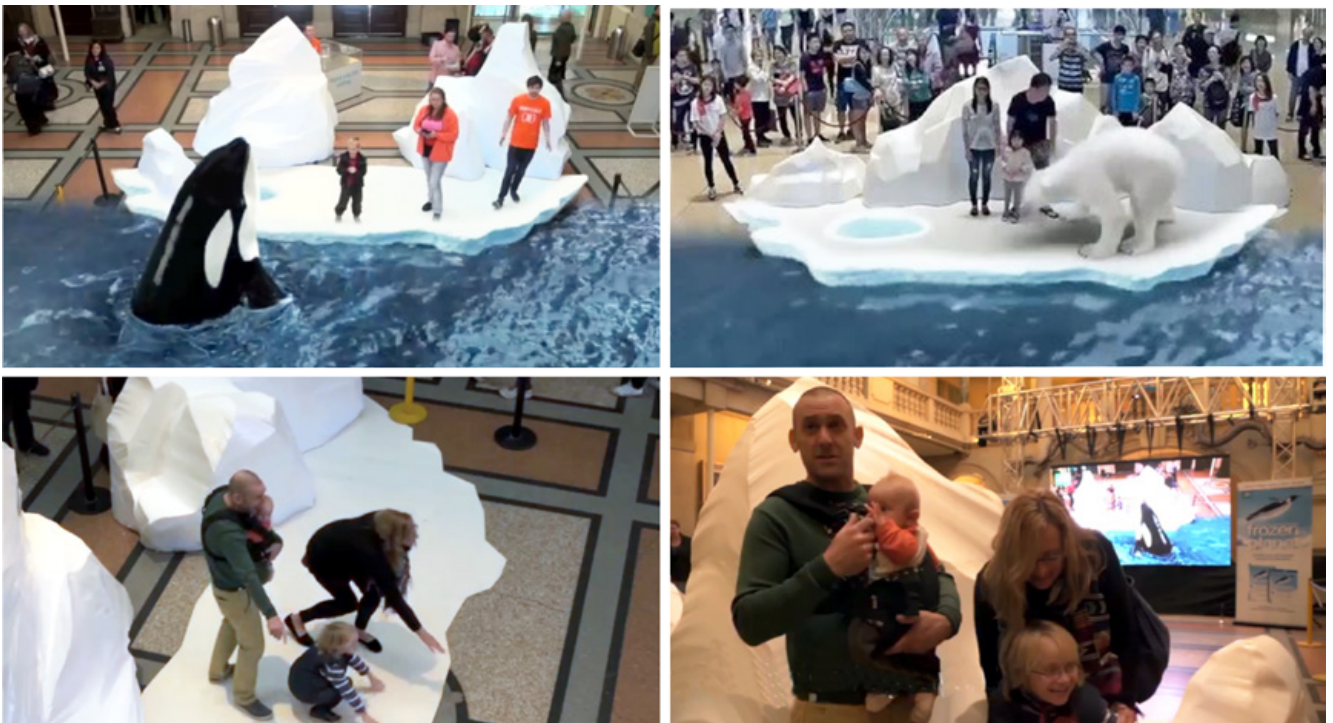


Рис. 16. Пространственно дополненная реальность (SAR) с электронным микшированием. Инсталляция фирмы INDE в Бристольском городском музее и Художественной галерее (Bristol City Museum and Art Gallery), г. Бристоль, Великобритания, 2012 г. На верхних фотографиях показано смикшированное с объектами «дополненной реальности» изображение, демонстрируемое на большом экране. На нижних фото показано, как этот процесс выглядит «со стороны», и показан экран, на котором демонстрируется это результирующее изображение с «дополненной реальностью»

4.2 Экранные прозрачные дисплеи

Данный вид устройств принципиально отличается от рассмотренных ранее экранных дисплеев с электронным микшированием. Прозрачность дисплея предполагает возможность видеть пространство и реальные объекты, расположенные за экраном, которые являются неотъемлемой частью создаваемой «дополненной реальности». Прозрачные экраны располагаются в пространстве, зрители могут свободно видеть всё находящееся за экранами, желательно, чтобы зрители вообще не замечали факт их наличия (рис. 17). На экранах формируется дополнительное изображение, воспринимаемое зрителями как реальное. Технологии создания изображения могут быть самыми разными: проекция на прозрачные материалы и среды (дым, воду, сетку и т.д.), использование прозрачных жидкокристаллических видеопанелей, динамические светоотражающие или светоизлучающие экраны (напри-

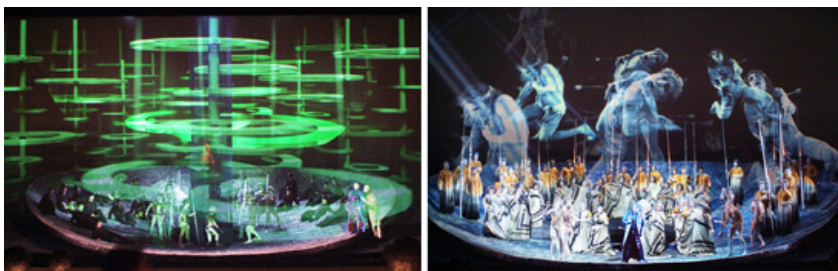


Рис. 17. Проекция на прозрачную сетку Regoni в театральной постановке (театр Regio di Parma)

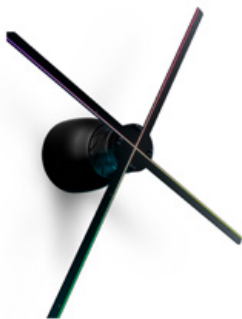


Рис. 18. Прозрачные экраны с вращающимися дискретными линейными элементами из светодиодных линеек фирмы Kino-mo: устройство Hypervsn и примеры инсталляции



Рис. 19. Примеры реализации архитектурного видеомэппинга на фасаде Большого театра, г. Москва, Россия

мер, вращающиеся светодиодные элементы [11], рис. 18) и т.п. [3,12]. Главным недостатком является локализация виртуального изображения только в местах размещения экранов и ограниченность его геометрических размеров.

4.3 Проекция на элементы среды

Для создания изображения виртуальных объектов «дополненной реальности» можно задействовать реальные физические объекты окружающей среды или ландшафта. Поверхности объектов реального мира можно использовать как экраны для световой проекции на них виртуальных изображений.

В отличие от кино, проекция осуществляется не на плоский прямоугольный белый экран, а на трёхмерные рельефные объекты окружающей среды, поэтому для достижения реалистичного результата необходимо построение компьютерной 3D модели объекта, на который планируется осуществить проекцию. На основе этой модели, с учётом её пространственной геометрии и цветовой неоднородности, выполняется геометрическая и цветовая коррекция проецируемого изображения, что позволяет добиваться полной визуальной трансформации и преобразования реальных объектов и окружающей среды, создавая достоверную иллюзию изменения самих объектов (рис. 19). Для полного покрытия изображением объёмных объектов и поверхностей с сохранением резкости изображения и отсутствием нежелательных теней применяется проекция с нескольких разных точек несколькими проекторами.

Такая технология известна как видеомэппинг (video mapping), проекционный мэппинг (projection mapping) или 3D мэппинг.

Получили распространение и интерактивные методы, и проекционные устройства, например, интерактивный пол, стена или стол [13]. В таких устройствах специальная камера отслеживает передвижения и действия пользователя, а компьютерная система на основе заложенных алгоритмов генерирует необходимое изображение по заданному сценарию, подстраиваясь под поведение пользователя (рис. 20). В настоящее время разрабатываются методы мэппинга на динамические поверхности, меняющие геометрическую конфигурацию, для этого в реальном режиме времени отслеживается изменение формы и структуры физической поверхности, выполняется построение



Рис. 20. Интерактивный проекционный пол размером 4x10 м, имитирующий аквариум в Приморском океанариуме



Рис. 21. Пример применения «скрытого» экрана Eyeliner компании Musion Systems Ltd. На сцене находится только одна реальная певица, остальные – её виртуальные клоны



Рис. 22. Мультимедийная инсталляция «В ставке Верховного Главнокомандующего» для экспозиции в Центральном музее Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. с элементами дополненной реальности

изменяющейся во времени 3D модели проекционной поверхности, и на основе проведённых вычислений генерируется скорректированное проецируемое изображение.

Существенными принципиальными недостатками проекционного мэппинга является возможность пространственной локализации элементов дополненной реальности только в местах нахождения реальных объектов с соответствующими ограничениями по форме и размеру, а также необходимость отсутствия внешнего освещения.

4.4 Пространственные оптические дисплеи

Этот вид устройств предполагает возможность создания дополненной реальности в ограниченном объёме внутри устройства. Для этого могут применяться все вышеописанные способы и их комбинации, позволяющие добиться оптического совмещения в одном пространстве находящихся там реальных объектов и отображаемых виртуальных объектов. Устройства такого рода разнообразны и разрабатываются для самых разных задач и назначения, могут иметь размеры от нескольких сантиметров до десятков метров, отображать изображение только для одного пользователя или обеспечивать возможность группового просмотра. Большая часть устройств для совмещения реального и виртуального изображений в своей основе предполагает наличие оптического сумматора.

Наибольшее распространение, в силу своей простоты и возможности обеспечивать большие размеры изображения, получили устройства, использующие в качестве оптического сумматора полупрозрачные зеркальные поверхности и скрытый от зрителя видеозэкран. Очень эффектно применение этой технологии на сценах концертных залов и театров (рис. 21), не менее интересно и перспективно использование подобной технологии в музейных и выставочных экспозициях. Мультимедийная инсталляция с элементами дополненной реальности, разработанная в Научно-исследовательском кинофотоинституте для экспозиции в Центральном музее Великой Отечественной войны 1941–

1945 гг, показана на рис. 22. Внутри реконструированного кабинета И.В. Сталина, среди оригинальных реальных предметов интерьера, по технологии дополненной реальности воспроизводятся исторические реконструкции с участием И.В. Сталина, Уинстона Черчилля и генералов советской армии (все элементы интерьера – подлинные музейные экспонаты, дополненным виртуальным изображением на фотографии являются анимированные фигуры людей и стеклянные бокалы).

Интересным направлением развития являются способы, позволяющие создавать изображение непосредственно в реальном пространстве. К таким разработкам относится работа японских исследователей [14]. В Японии национальный институт AIST и компания Burton Inc. разрабатывают систему с инфракрасными импульсными лазерами, работающую в обычном окружающем нас воздухе (рис. 23). Излучение инфракрасного лазера фокусируется в точке, в результате концентрации мощности в точке фокуса происходит ионизация воздуха и образуется светящаяся плазменная точка. Сканирующая система обеспечивает быстрое перемещение светящейся плазменной точки, формируя за счёт развёртки в пространстве объёмное изображение. Разрешение изображения пока не велико, но работы в этом направлении продолжают.

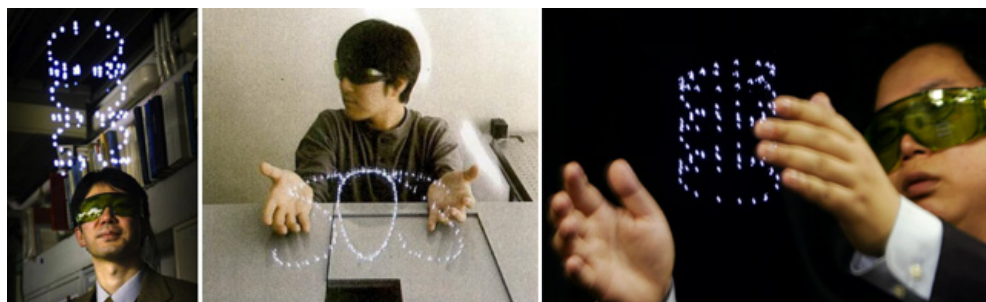


Рис. 23. Демонстрация возможностей системы, разработанной японским национальным институтом AIST и компанией Burton Inc., по созданию в атмосферном воздухе изображения, образованного из плазменных точек, полученных методом сканирования сфокусированного инфракрасного лазерного пучка

Заключение

Технологии дополненной реальности активно и интенсивно развиваются уже более двадцати лет. Развитие компьютерных технологий, постоянный рост их производительности и быстродействия в сочетании с удешевлением и большей доступностью при постоянном совершенствовании программных алгоритмов позволяет создавать устройства для массового применения, делая тем самым «дополненную реальность» технологией практически общедоступной и распространённой даже в бытовой сфере. Разнообразие применяемых технических средств и технологических решений позволяет расширять область применения на всё новые сферы человеческой деятельности. Технологии «дополненной реальности» всё больше становятся составной частью нашей повседневной реальности и уже применяются в образовании; системах управления транспортными сред-

ствами; для технического проектирования и моделирования; в музейных и выставочных экспозициях; в медицине для визуализации томографической информации и проведения сложных операций; для создания разного рода тренажёров; в искусстве и рекламе; в компьютерных играх; в сфере развлекательной индустрии и т.д.

Такое многообразие в способах применения и разнообразии технических средств и технологий в настоящий момент привело к размытию границ самого понятия «дополненная реальность». В 1997 году Рональд Азума (Ronald Azuma) в часто цитируемой работе «Исследование дополненной реальности» [15] с целью «...чтобы избежать ограничения AR для конкретных технологий...» сформулировал три основных принципа, которые характерны для системы дополненной реальности:

- объединение реального и виртуального мира;
- взаимодействие в режиме реального времени;
- трёхмерное отражение объектов.

Однако, имеющееся сейчас многообразие технических устройств, технологий, программных алгоритмов и способов применения уже не вписывается в вышеприведённую классическую формулировку. Более того – в ряде случаев достаточно трудно провести классификацию и в рамках концепции «смешанной реальности» Пола

Милграма и Фумио Кишино [1]. В некоторых случаях одни и те же технические средства применимы для разных типов смешанной реальности и могут демонстрировать как дополненную, так и виртуальную реальность в зависимости от режима работы и контента. Есть приложения, которые трудно однозначно классифицировать, например, системы синтезирован-

ного (или искусственного) зрения, визуализирующие реальное пространство и объекты, фиксируемые специальными сенсорами в невидимом для человека спектре, или даже в диапазоне звуковых или радиоволн. Существующие определения и классификации требуют дополнительной проработки, уточнения и обобщения, как с технологической точки зрения, так и с когнитивной и общепсихологической.

Системы и технологии «дополненной реальности» будут развиваться нарастающими темпами и распространяться на всё новые сферы человеческой деятельности. Развитие будет основываться на применении новейших технических высокотехнологичных разработок, в том числе, комплексных на стыке нескольких научных областей, и создании новых, более эффективных и совершенных программных алгоритмов и методов обработки видеоизображения и трёхмерного моделирования.

Приоритетными направлениями для развития являются прикладные задачи, требующие максимальной реалистичности и точности при совмещении виртуального и реального пространств и их объектов в одном объеме, и повышение степени реалистичности и быстродействия систем дополненной реальности. В части развития программной составляющей большой интерес представляют «системы синтезированного зрения», позволяющие реконструировать реальный мир цифровыми методами, различные приложения для мобильных и специализированных индивидуальных устройств, разработка многопользовательских систем и интерфейсов, позволяющих одновременно нескольким участникам совместно взаимодействовать с одними и теми же объектами дополненной реальности. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Caudell T.P., Mizell D.W.* Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference, 1992, vol. 2. IEEE, P. 659–669.
2. *P. Milgram, A. Kishino.* Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. / IEICE Transactions on Information and Systems. 1994. E77-D(12). P. 1321–1329.
3. *Чекалин Д.Г.* Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений. / Мир техники кино. 2017 – 1(11). С. 19–28.
4. *Oliver Bimber, Ramesh Raskar.* Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. A K Peters, Ltd., 2005.
5. *Томилин М.Г., Невская Г.Е.* Дисплеи на жидких кристаллах. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 108 с.
6. *Кучерявый А.А.* Бортовые информационные системы: курс лекций 2-е издание, Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.
7. *Hua H., Gao C., Brown L., Ahuja N, and Rolland J.P.* "Using a Head-Mounted Projective Display in Interactive Augmented Environments." In Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality. 2001. Los Alamitos, CA: IEEE Press. P. 217–223.
8. *Inami M., Kawakami N., Sekiguchi D., Yanagida Y., Maeda T., and Tachi S.* "Visuo-Haptic Display Using Head-Mounted Projector" In Proceedings of IEEE Virtual Reality. 2000, Los Alamitos, CA: IEEE Press. P. 233–240.
9. *Ведмеденко И.* Авиашлемы. Виртуальная реальность в настоящем бою. / Naked Science 17 августа 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://naked-science.ru/article/tech/aviashlemy-virtualnaya-realnost-v> (дата обращения: 20.06.2018).
10. INDE. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.industry.com/> (дата обращения: 20.06.2018).
11. Kino-mo Ltd. [Электронный ресурс]. URL: <https://kino-mo.com/> (дата обращения: 20.06.2018).
12. *Чекалин Д.Г.* Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений. / Мир техники кино. 2017 – 3(11). С. 29–35.
13. Youtube. Интерактивный пол размером 4x10 м для Приморского океанариума. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mHqPxK516Uo> (дата обращения: 20.06.2018).
14. *Saito H. et al* (2008). Laser-plasma scanning 3D display for putting digital contents in free space. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX. A.J. Woods et al, eds. Proc. SPIE-IS&T Electr Imag, Vol. 6803, p. 680309.
15. *Azuma R.* A Survey of Augmented Reality. / Teleoperators and Virtual Environments 6. 1997. № 4. P. 355–385.

REFERENCES

1. *T.P. Caudell, D.W. Mizell.* Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference, vol. 2. IEEE, pp. 659–669, 1992.
2. *P. Milgram, A.F. Kishino.* Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays IEICE Transactions on Information and Systems, E77-D(12), pp. 1321–1329, 1994.
3. *Chekalin D.* Features of perception, methods of demonstration and modern technologies of three-dimensional images reproduction. / World of technique of cinema. 2017–1 (11), pp.19–28.
4. *Oliver Bimber, Ramesh Raskar.* Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. A K Peters, Ltd., 2005.
5. *Tomilin M.G., Nevskaya G.E.* Displei na zhidkikh kristallah. SPb: SPbGU ITMO, 2010. 108 p.
6. *Kucheryavy A.A.* Bortovue informacionnie sistemy. Lectures 2-nd edition, Ulyanovsk: UIGTU, 2004. 504 p.
7. *H. Hua, C. Gao, L. Brown, N Ahuja, and J.P. Rolland.* "Using a Head-Mounted Projective Display in Interactive Augmented Environments." In Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality 2001, pp. 217–223. Los Alamitos, CA: IEEE Press, 2001.
8. *M. Inami, N. Kawakami, D. Sekiguchi, Y. Yanagida, T. Maeda, and S. Tachi.* "Visuo-Haptic Display Using Head-Mounted Projector" In Proceedings of IEEE Virtual Reality 2000, pp. 233–240. Los Alamitos, CA: IEEE Press, 2000.
9. *Vedmedenko I.* Aviation Helms. Virtualnaya realnost v nastooyshem boyu. Naked Science, Aug, 17, 2017, <https://naked-science.ru/article/tech/aviashlemy-virtualnaya-realnost-v> (20.06.2018).
10. NDE. <http://www.industry.com/>. (20.06.2018).
11. Kino-mo Ltd. <https://kino-mo.com/>. (20.06.2018).
12. *Chekalin D.* Features of perception, methods of demonstration and modern technologies of three-dimensional images reproduction. / World of technique of cinema. 2017– 3 (11), pp. 29–35.
13. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=mHqPxK516Uo>. (20.06.2018).
14. *H. Saito et al* (2008). Laser-plasma scanning 3D display for putting digital contents in free space. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX. A.J. Woods et al, eds. Proc. SPIE-IS&T Electr Imag, Vol. 6803, p. 680309.
15. *R. Azuma.* A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, pp. 355–385, August 1997.



ЭПИТАФИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ФРАНЧАЙЗИНГА



Г.В. Фокин, finas@finas.su, Совет ТПП РФ по интеллектуальной собственности, Система технического регулирования «Национальный консорциум ПМИС», Международный консультационно-методический кластер

Аннотация

Отечественному рынку инноваций необходимо развиваться в направлении конкурентных преимуществ. Однако ни один из экспонентов выставки «Всемирный форум и выставка по франчайзингу 2018» не смог прокомментировать суть своих франшиз — все продавали «репутацию», и никто не сообщал о сути и преимуществах своих нововведений, которые являются следствием результатов интеллектуальной и научно-технической деятельности.

Ключевые слова: инновация, интеллектуальная собственность, франшиза, ноу-хау, франчайзинг, краудфандинг.

■ Майский «Всемирный форум и выставка по франчайзингу 2018» оставили двоякое впечатление. Нужно и своевременное мероприятие — отечественному рынку инноваций необходимо развиваться в направлении конкурентных преимуществ. Вместе с тем, ни один из экспонентов выставки не смог прокомментировать суть своих франшиз — все продавали «репутацию», и никто не сообщал о сути и преимуществе своих инноваций. Деловой программы форума о сути инноваций, франшиз и качества не было.

Суть инновации — нововведения. Как правило, это следствие результатов интеллектуальной и научно-технической

деятельности. Инновации нематериальны, как и интеллектуальная собственность. Результатам интеллектуальной деятельности предоставляется правовая охрана. При этом интеллектуальная собственность является коммерческой сутью инноваций и, как следствие новизны, инструментом конкурентных преимуществ. Суть франшизы — лицензия на секреты производства продукции с товарным знаком (репутационной составляющей) бизнес-практик лицензиара. При этом товарные знаки интеллектуальной собственностью не являются и её не охраняют.

Интерес к инновациям и франшизам вызван, прежде всего, интересами конкурентных преимуществ,

добавленной стоимостью, роялти (лицензионных отчислений от прибыли лицензиата) и совершенствованием производства, потребительских качеств продукции. Однако этот интерес и бизнес-практики повсеместно сопровождаются правовым нигилизмом в отношении гражданского оборота интеллектуальной собственности.

Характерно, что продукция серийного производства инноваций, перспективности не содержит. Технологии её производства и использования регламентируются имеющейся конструкторской и эксплуатационной документацией, стандартами или техническими условиями на продукцию, паспортами и формулярами изделий, регламентами гарантийного сервиса и утилизации.

Серийная продукция интеллектуальной собственности, как правило, уже не содержит интеллектуальную собственность как основу ценовой практики реализации продукции. Необходимы постоянные инновации с созданием новой интеллектуальной собственности. Интеллектуальные активы, особенно в части патентного права, быстро «стареют» и теряют ценностные, ценовые преимущества (к любому изобретению легко «прикрутить гайку» и заявить инновацию – новый патент).

Современной экономике и бизнесу наиболее интересны именно инновации как возможность создания новых продуктов и технологий для снижения издержек производства или достижения иных конкурентных преимуществ (об этом свидетельствуют различные форумы). А разработчику продуктов (изделий, методик, технологий, практик) интересны: секреты производства (ноу-хау); исключительные права (монополия); и франшизы (лицензии в порядке реализации коммерческой концессии). Это единственный способ коммерциализации инноваций как нематериального объекта.

На какие изделия можно получить исключительное право?

Исключительное право – имущественное интеллектуальное право. Признание, подтверждение, реализация, коммерциализация и защита интеллектуальных прав осуществляется:

- на произведения (науки, литературы, искусства);
- программы для ЭВМ и базы данных, которые являются объектами авторских и смежных прав;
- на технические решения (изобретения, полезные модели) и селекционные достижения, которые являются объектами патентных прав;
- на ноу-хау (секреты производства).

Чтобы в отношении ноу-хау (сведений о результатах интеллектуальной деятельности, используемых в режиме конфиденциальности информации и коммерческой тайны) признавалось исключительное право, сами результаты интеллектуальной деятельности должны охраняться авторским правом. Патентное право не подходит, так как при патентовании теряются конфиденциальность информации и коммерческая тайна, а до патентования технических решений, решений внешнего вида изделий

и селекционных достижений отсутствует их правовая охрана, и нет интеллектуальных прав.

Вместе с тем, технологии, как сложные объекты гражданского оборота интеллектуальной собственности, могут содержать объекты авторского, смежного, патентного права и ноу-хау в любой комплектации и конфигурации. Соответственно, для формирования и реализации исключительных прав технологии должны оформляться стандартами и технологическими регламентами, методиками; а стандарты и регламенты, методики должны признаваться объектами авторского права. Пока это редко практикуется, так как требует больших затрат и паспортизации интеллектуальной собственности.

Исходя из условий стабильности серийного производства, инновации – продукт исследований, разработки и подготовки производства, кустарного или опытного производства (именно там возникают инновации). При этом, покупателю (правопреемнику) инноваций интересен не материальный продукт, а перспективная технология для создания нового продукта или расширения «экосистемы» старого, а сам материальный продукт рассматривается им как промышленный образец инновации для создания технологии производства новых продуктов.

Чтобы коммерциализация инновации состоялась, необходима её презентация.

Наиболее перспективным способом демонстрации инноваций является презентация ноу-хау (секретов производства) по их косвенным признакам с приложением промышленного образца продукта (продуктов), созданных по новой технологии. Также правоподтверждающих документов, независимой стороны от продавца и покупателя: спецификаций результатов интеллектуальной деятельности и ноу-хау; авторского свидетельства; сертификата признания интеллектуальной собственности и ноу-хау; паспорта интеллектуальной собственности и франшизы, используемых в Российской Федерации с 2007-го года.

Как правило, необходимые документы оформляются по правилам позитивно зарекомендовавшей себя системы сертификации интеллектуальных активов СДС ОИС – государственный регистрационный № РОСС RU.Ж157.04АД00 (стандарт СТО.9003-10-2011 серии «Интеллектуальная собственность и инновации»[1]). На подходе прогрессивная система сертификации интеллектуальной собственности и правоподтверждающих документов – СДС «Национальный консорциум ПМИС» от компании «Nevsky IP Law». Особенность – решающим является экспертное мнение профессионального сообщества.

Последующая коммерциализация ноу-хау (секретов производства) или технологии (методики, регламента, стандарта) осуществляется на условиях договора коммерческой концессии с отчуждением покупателю (правопреемнику) исключительного права или предоставле-

ния ему лицензии на ноу-хау или технологию с выплатой разового или многократного лицензионного вознаграждения или роялти (доли от прибыли; например, от совместного производства, реализации и сервисного сопровождения продукции).

Характерный пример позитивного опыта – Шоу-рум инноваций Международного центра научной и технической информации/ International Centre for Scientific and Technical Information (МЦНТИ), задачами которого являются презентация и продвижение на международные рынки перспективных отечественных и зарубежных технологий для создания новых продуктов; цель – международная кооперация по стимулированию креативности исследований, разработок, проектирования и снижению издержек производства в части устранения технологических недостатков.

Правила Шоу-рум инноваций МЦНТИ включают требования признания, подтверждения, соблюдения интеллектуальных прав от партнеров (экспонентов Шоу-рум) и оказания им помощи по объективному признанию и паспортизации интеллектуальной собственности, ноу-хау и франшиз, которые обезопасят заинтересованных лиц от исков о введении в заблуждение о наличии, ценности инновации и административных, налоговых, уголовных правонарушений гражданского оборота интеллектуальной собственности.

Соответствующая помощь МЦНТИ и профилактика рисков гражданского оборота интеллектуальной собственности составляют:

- оценку соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом;
- объективное признание интеллектуальных прав, интеллектуальных активов и ноу-хау;
- паспортизацию интеллектуальной собственности, технологий, ноу-хау и франшиз;
- оценку стоимости исключительных прав и ущерба от их нарушений, утраты;
- юридическую проработку лицензионной политики, франшиз и договорной практики.

Для этого Шоу-рум инноваций МЦНТИ интегрирован с международной программой «Интеллектуальная собственность и инновации», суть которой – кооперация по защите инвестиций в инновации путём объективного признания, паспортизации и профессионального менеджмента интеллектуальной собственности (ПМИС)

как фундамента роста бизнеса и повышения эффективности интеллектуальных активов (имущественного комплекса предприятий) в режиме технических решений и авторского права, технологий (сложных объектов гражданского оборота интеллектуальной собственности), коммерческой тайны (ноу-хау), франшиз (коммерческой концессии). Участникам программы оформляется сертификат их компетенций и практик международного и национального консультационно-методического кластера МЦНТИ.

Спецификация РИД – исходный документ стандартизированной формы с описанием интеллектуальной деятельности и её результатов в виде произведения (науки, литературы, искусства), технического решения, программы для ЭВМ, базы данных, монографии, диссертации, методики, сценария, презентации, регламента, стандарта процесса, технологии, качества, ноу-хау, франшизы... предназначенный для объективного признания интеллектуальных прав (статья 1226 ГК РФ [2]) и оформления: авторского свидетельства; отчёта об оценке соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным и/или патентным правом; сертификата признания интеллектуальной собственности и ноу-хау; паспорта интеллектуальной собственности, ноу-хау и франшизы; объекта нематериальных активов; договора об отчуждении исключительного права, лицензионного соглашения и судебного иска; сертификата менеджмента качества интеллектуальной собственности и т.д.

Поиск инноваций в форме промышленных образцов и продукции кустарного, опытного производства целесообразно осуществлять на выставках и презентациях стартапов. Учитывая отсутствие у них необходимой компетентности в предметной области, правоподтверждающей документации и ограниченность ресурсов, помощь разработчикам инноваций целесообразно организовывать путём долевого инвестирования или краудфандинга, вовлекая в проект необходимых специалистов и заинтересованных лиц.

Заключение

Необходимо помочь разработчикам более чётко формулировать смысл своих новаций, рассказывать о преимуществах своих технологий и ноу-хау в сравнении с другими. Это целесообразно делать на этапе презентации инноваций на профильных площадках. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт СТО.9003-10-2011 серии «Интеллектуальная собственность и инновации».
2. ГК РФ, статья 1226.



ЭКРАНИЗАЦИЯ ТЕАТРАЛЬНЫХ ПОСТАНОВОК В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОМ формате



А.С. Мелкумов, info@stereokino.ru, зав. сектором цифрового стереокино НИКФИ, режиссёр киноверсии и оператор-постановщик стереофильма-спектакля «Стена», РФ

Аннотация

Данная статья рассматривает особенности экранизации театральных постановок в стереоскопическом формате.

Ключевые слова: экранизация, стереоскопия, стереопсис, пространственная композиция, рампа, коэффициент передачи пространства, киномонтаж, фильм.

THE SCREEN VERSION OF THEATRICAL PRODUCTIONS IN STEREO SCOPIC FORMAT

A. Melkumov, info@stereokino.ru, 3D Digital Department NIKFI, Director and director of photography 3D movie "Wall", Russia

Abstract

This article examines the features of the adaptation of theatrical productions in a stereoscopic format.

Keywords: screening, stereoscopy, three-dimensional image, stereopsis, ramp, the coefficient of space transfer, film.

Введение

Экранизацией называется интерпретация средствами кинематографа произведения другого вида искусства. Чаще всего мы имеем дело с экранизацией произведений литературы. Встречаются случаи многоуровневой интерпретации, когда по литературному оригиналу пишется театральная пьеса, по которой ставится спектакль, а последний подвергается экранизации, результатом которой является фильм-спектакль. Театральный зритель, наблюдая спектакль, видит, выражаясь кинематографическим языком, не просто общий план сцены, а занимается, условно говоря, интеллектуальным монтажом: выделяя и «укрупняя» тот или иной образ, переводя взгляд с одного персонажа на другой. Но и видеозапись сценического действия одной камерой отличается от того, что будет видеть зритель в фильме. Съёмка ведётся несколькими камерами с разных точек, полученный материал подвергается монтажу, и таким образом происходит процесс воссозда-

ния «интеллектуального монтажа». Из многообразия точек съёмки возникает результирующий образ, который с экрана передаётся кинозрителю как результат восприятия «коллективным театральным зрителем».

По мере развития кинотехнических средств фильмы-спектакли оказывали различное эмоциональное воздействие на кинозрителя. В эпоху чёрно-белого кинематографа фильмы отличались от театрального оригинала отсутствием цвета. С приходом цвета происходит не только цветовая конвергенция оригинала с экранным образом, но и рождение цветового контрапункта, когда можно подчеркнуть, дать в столкновении цветной и монохромный образы, показать рождение цвета или его угасание в той или иной сцене.

Длительное время принципиальным отличием экранизации от театральной постановки являлось условие наблюдения плоскостного двумерного изображения на киноэкране в отличие от максимально реалистиче-

ского восприятия трёхмерных персонажей в реальной пространственной среде. Данная статья рассматривает особенности экранизации театральных постановок в стереоскопическом формате на примере создания фильма «Стена» по спектаклю Приморского Академического Драматического театра им. М. Горького, поставленного по одноимённому роману Владимира Мединского.

Стереосъёмка: подбор и расстановка стереокамер, выбор точек съёмки

Для полноты отображения сценографии театральной постановки, как правило, съёмка ведётся несколькими камерами. Такая съёмка является многокамерной, но возможна и многократная, если есть возможность повторной записи спектакля. В таком случае при одном и том же количестве камер удваивается количество съёмочных точек, что значительно обогащает отснятый материал. Но при этом необходимо соблюдение важного условия – чтобы спектакль игрался на одной и той же сцене, в одинаковых световых и акустических условиях. Это замечание относится и к традиционной съёмке. К сожалению, в случае с фильмом «Стена» съёмки проходили на двух сценических площадках разной конфигурации, с разными осветительными приборами и разными по мощности экранами фонового изображения.

При выборе расположения камер принципиально важно учитывать фактор пространственной передачи объекта. Трёхмерное изображение оценивается *перспективной характеристикой передачи пространства*, так называемым коэффициентом передачи глубины θ , который описывает степень стереоскопической выраженности (подобно цве-

товой насыщенности) изображения. Эта величина θ при постоянном положении зрителя в кинозале ($L_{зр}$) зависит от дистанции камеры до объекта съёмки (L_c):

$$\theta = \frac{L_{зр}}{L_c} \tag{1}$$

Один и тот же масштаб изображения сценического действия мы можем получить при различном фокусном расстоянии, меняя дистанцию съёмки до объекта L_c . Согласно формуле 1, в различных случаях мы будем иметь разную глубину, которая будет характеризоваться определённой степенью сжатия ($L_c > L_{зр}$) или растяжения ($L_c < L_{зр}$). Поэтому к подбору дистанции съёмки следует относиться с учётом его влияния на пространственную передачу объекта. *Чем ближе мы находимся к объекту съёмки, тем выше стереоскопическая выраженность данного объекта* [1] – фото 1 и фото 2.

Поэтому при стереосъёмке камеры следует располагать максимально близко к театральной рампе. Для этого рекомендуется использовать дистанционно управляемые кран-стрелки и операторские тележки. В случае отсутствия данных технических средств проводится дополнительная съёмка без зрителей с расположением камеры непосредственно на сцене. Степень «выхода» частей объекта в предэкранное (преддрамповое) пространство пропорциональна дистанции съёмки. Так, например, на пояском плане актёра, снятого с дистанции двух метров, протянутая рука «выйдет» на 50% дистанции зрителя до экрана. При той же крупности, но снятой с дистанции десяти метров, «выход» составит 10% (фото 3 и 3,а).



Фото 1. Сцена снята с дальней дистанции



Фото 3. Низкая степень «выхода» руки со свитком



Фото 2. Сцена снята с ближней дистанции



Фото 3,а. Высокая степень «выхода» руки со свитком

Величина базиса съёмки также влияет на стереоскопическую выраженность пространственной композиции [1].

$$L_{\text{ramp}} = \frac{B \cdot f}{p_{\infty}} \quad (2)$$

где: L_{ramp} – дистанция рампы, B – базис стереосъёмки, f – фокусное расстояние съёмочной оптики, p_{∞} – параллакс бесконечности.

Как видно из формулы (2), с увеличением базиса съёмки увеличивается дистанция до рампы – виртуальной плоскости нулевых параллаксов, расположенной перпендикулярно оптической оси объектива (не путать с театральной рампой). Это означает, что две стереокамеры, расположенные на разных дистанциях от рампы, можно привести к схожему коэффициенту пространственной передачи глубины θ , если у них будут разные базисы съёмки. Чем больше величина съёмочного базиса, тем больше диспаратность изображений между левым и правым ракурсами, тем эффективнее задействованы бинокулярные факторы на адресных общих планах, передающих сценографию постановки. В нашем случае использовалась камера «Sony HXR-NX3D1E» со съёмочной базой 31 мм и камера «Panasonic AG-1» с базой 60 мм (фото 4 и 5).



Фото 4. Стереокамера «Sony HXR-NX3D1E»

Первая располагалась непосредственно перед театральной рампой, когда съёмка велась при зрителях или на сцене при съёмке в отсутствии зрителей. Вторая камера находилась в партере, и в первый день велась запись адресного плана всей сценографии. На второй день оператору этой камеры была поставлена задача вести съёмку с внутрикадровым монтажом посредством зуммирования.

В традиционном кинематографе мы обычно выстраиваем композицию по «картинной плоскости». Это так называемая виртуальная плоскость, перпендикулярная оптической оси съёмки и ограниченная границами кадра. Поэтому для полноты передачи сценографии фронтальный план к камере. Но в отличие от фронтального

расположения камеры, диагональное не позволяет иметь симметричные по масштабности композиции левых и правых участков сцены. Разную масштабность можно компенсировать путём зуммирования, укрупнения участка сцены, расположенного в противоположной части рампы, но тогда из-за разности дистанций съёмки мы будем иметь различный стереоописание изображения. Это как монтировать два плана разной цветовой насыщенности. Поэтому при многокамерной съёмке кинокамеры следует размещать на симметричных диагональных точках относительно рампы сцены. А при многократной, как это было в случае съёмки спектакля

тальная точка съёмки является генеральной, так как она успешно передаёт мизансцену передвижения персонажей вдоль сцены. Центральное расположение камеры позволяет равномерно снимать сцены, проигрываемые актёрами в левой или правой части декорации. Панорамируя, путём слежения за актёром, в отдельных случаях приближаясь к нему через зуммирование, можно вести непрерывную съёмку всего спектакля даже одной камерой. В стереокино слежение за передвижением актёра вдоль сцены путём горизонтального панорамирования даёт маловыразительный по стереопису результат. Необходима такая точка съёмки, чтобы перемещение актёров происходило вдоль оптической оси камеры при неизменных границах кадра. В этом случае будет ярче выражено композиционное пространство по глубине кадра. Это позволит ограничить сменяемость точек съёмки и одновременно оживить статуарность кадра, так как композиция будет насыщена внутрикадровым движением. Достигается это не фронтальным, а диагональным расположением камер относительно рампы сцены (фото 6 и 7).

Сценография передаётся более протяжёнными и многоплановыми композициями. С таких точек съёмки перемещение актёров вдоль сцены переходит во внутрикадровое мизансценирование с переменным изменением крупности персонажей, выходом их на пе-



Фото 5. Стереокамера «Panasonic AG-1»

редний план к камере. Но в отличие от фронтального расположения камеры, диагональное не позволяет иметь симметричные по масштабности композиции левых и правых участков сцены. Разную масштабность можно компенсировать путём зуммирования, укрупнения участка сцены, расположенного в противоположной части рампы, но тогда из-за разности дистанций съёмки мы будем иметь различный стереоописание изображения. Это как монтировать два плана разной цветовой насыщенности. Поэтому при многокамерной съёмке кинокамеры следует размещать на симметричных диагональных точках относительно рампы сцены. А при многократной, как это было в случае съёмки спектакля



Фото 6. Фронтальная композиция



Фото 7. Диагональная композиция

«Стена», – последовательно в два дня снимать с левой и правой позиции.

Симметричное диагональное расположение камер позволяет свести к минимуму панорамирование, которое маловыразительно в стереокино. Каждая камера снимает свой участок сцены, не следит за актёром, а «выпускает» его в соседнее пространство, где его «принимает» фронтальная камера и «передает» третьей камере, расположенной в противоположном участке театральной рампы. При таком расположении камер выстраиваем три композиционных пространства. Два, протяжённых по глубине всей сцены независимо от её ширины, с глубинным внутрикадровым мизансценированием в левой и правой стороне сцены, и третье, фронтальное пространство, ограниченное границами кадра. На центральной точке рекомендуется располагать две камеры: одна, снимающая общий план всей сценографии, вторая – на ближней дистанции, чтобы снимать центральный участок средним планом, в котором также может происходить внутрикадровое мизансценирование по глубине сценического пространства. Эти четыре точки съёмки позволяют иметь многоплановый материал для монтажа сцены, общий адресный план, три плана с внутрикадровым мизансценированием, два из которых диагональной композиции и один – фронтальной (рис. 1). В итоге, кинозритель с экрана воспринимает зрительный образ сценического действия, рождённый «коллективным» театральным зрителем.

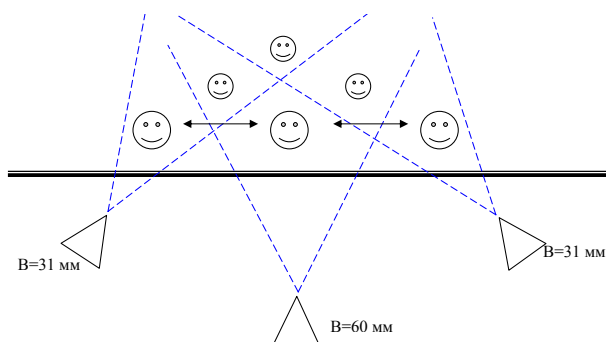


Рис 1. Расположение камер при стереосъёмке

При многокамерной стереосъёмке следует учитывать, что в основе требований к монтажно-композиционному построению стереофильма лежат отличия в восприятии трёхмерного экранного изображения от двухмерного. Так, например, если при традиционной съёмке мы следим за единством светового, тонального и цветового решения в пределах одного куска смонтированной сцены, то в стереокино возникает дополнительное *требование к единству пространственного восприятия от плана к плану в пределах одной сцены*. Для этого желательно вести съёмку в единых параметрах, избегать немотивированных изменений съёмочного базиса и ракурса съёмки. Не рекомендуется снимать с одинаковой дистанции камерами с разными съёмочными базисами, с осторожностью использовать верхний ракурс при съёмке актёров, помнить, что в большинстве случаев зритель сидит ниже театральной рампы.

Киномонтаж: создание экранной формы театральной пьесы

Экранизация спектакля начинается с киносъёмочного процесса, когда операторы монтажно ведут съёмку. Но только на стадии монтажа видеозаписей происходит окончательная интерпретация театрального произведения в кинематографическое. Кадр с границами театрального действия превращается в структурную временную единицу монтажа. Единое театральное пространство начинают дробить на разномасштабные подпространства (общие, средние и крупные планы) с соблюдением иллюзии единства места и действия [2]. Из многообразия ракурсов и крупностей возникает изложение спектакля в новой, экранной форме. В стереокино это уже не статично очерченная площадка театрального действия, а динамическое окно с насыщенным потусторонним пространством. Рекомендуется найти некое изобразительное решение по введению зрителя в это пространство. Так, например, фильм «Стена» начинается с медленной панорамы по пространству театрального зала. Возникает эффект присутствия кинозрителя в этом зале, постепенно погружаемого в темноту, в которой возникает экран плоского чёрно-белого изображения стены, из которой формируется заглавный титр фильма, он отрывается от экрана и движется на зрителя. Далее, сквозь стену мы видим рождение нового чёр-

но-белого пространства с театральным занавесом, перед которым на авансцену выходят исторические персонажи, постепенно материализуясь и проявляясь в цвете. В композиционном построении стереофильма важное положение занимают титры фильма. С их появлением у зрителя возникают первые стереоскопические ощущения, по ним он получает установку на положение плоскости рампы в зрительном зале.

В теории монтажа существует такое понятие, как «цветовой удар». В стереокино мы наблюдаем явление «стереоскопического удара», которое возникает при соседстве планов с разными по масштабу и пространственному расположению объектами относительно плоскости экрана [3].

«Стереоскопический удар» может стать как причиной дискомфорта в восприятии (что бывает чаще), так и причиной эмоционального скачка. Ощущение дискомфорта возникает при последовательности композиций, в одной из которых объект расположен в заэкранном пространстве, а в другой – сразу в зальном. Поэтому следует вести монтаж кадров с последовательным изменением положения центрального объекта относительно рампы. От композиции заэкранного изображения через околорамповое положение объекта можно переходить к расположению объекта в зале. Избежать дискомфорта от «стереоскопического удара» возможно, если следующий в монтаже план начинается с горизонтального проезда или панорамы, далее «выхода» камеры с общего плана на переднеплановую композицию, а не наоборот.

Выразительно воспринимается монтажный переход между планами, именуемый наплывом. Он часто выручает, если невозможно избежать дискомфорта от «стереоскопического удара». Чем больше разница в пространственном расположении объектов в соседних планах, чем большая разница в ракурсах съёмки, тем выразительнее данный художественный приём. В фильме «Стена» часто прибегали к длинным двойным экспозициям. Это позволяло, с одной стороны, как бы соединять несколько композиций одного сценического действия, снятого с разных ракурсов, а с другой стороны, более полно насыщать пространство кадра композиционными элементами фоновых изображений, которые проецировались на заднике сценической площадки. Так, двойными экспозициями накладывались взрывы, всполохи огня, пожар при штурме крепости войском польским, которые создавались рирпроекцией во время представления. Двойной экспозицией накладывался дождь, изображение которого также было взято из материалов фоновой рирпроекции. Правильно рассчитанные по параллаксам, даже плоские изображения, интегрированные в трёхмерные, создают у зрителя ощущение пространственной многоплановости композиции (фото 8 и 9).

Такое интегрирование фоновых изображений могло кардинально изменить театральную композицию, как это



Фото 8. Соединение нескольких композиций в одну пространственную



Фото 9. Совмещение моноизображений с пространственными композициями

произошло в эпизоде с подсолнухами, которые вначале являются не фоном, как это было на сцене, а средой, из которой появляются персонажи. То же самое можно сказать о сцене с поджогом флага польского короля. Но следует заметить, что в фильме были использованы только собственные изобразительные элементы, которые были задействованы в спектакле. Никаких сторонних CG элементов не было интегрировано в изображение фильма, не считая титров с фамилиями создателей и актёров спектакля (фото 10 и 11).

В процессе монтажа претерпевает изменение и звуковое оформление фильма. Подобно изображению, звук также подвергается монтажу, чередованию «крупностей плана» через усиление или уменьшения силы звучания, «перекидывая» голос одного персонажа на изображение другого. Звук на сцене и в фильме имеет разный характер звучания. В спектакле соединение речи с музыкальной фонограммой, её звучание зависит от акустических особенностей как зрительного зала, так и декораций. К тому же, музыкальное сопровождение растворяется в шумах массовки. В фильме, если в сцене нет актёрского диалога, используется не фонограмма спектакля, а звуковой файл музыкального



Фото 10. Интегрирование персонажей в новую среду



Фото 11. Трёхслойное совмещение моноизображений с трёхмерным

произведения. При наличии в сцене речи и музыкального сопровождения всё равно следует совмещать музыкальный файл с фонограммой спектакля. Это позволяет не только держать одинаковый уровень звучания при монтаже планов, снятых с разноудалённых точек съёмки, но и отдельно от речи регулировать силу музыкального звучания сообразно драматургии сцены, на-

пример, если надо подчеркнуть тот или иной монолог. Сепарация речи и музыки необходима для создания пространственного звучания, важного условия для стереоскопического фильма. Без этого невозможно развести фонограмму по разным каналам, интегрировать звуковые файлы отдельно записанных игровых шумов, как то шум сверчка, выстрела и т.п. Часто по монтажу требуется более раннее вхождение музыкальной темы, когда предыдущий эпизод ещё не завершился, или, наоборот, продолжение предыдущей музыкальной темы.

Порой настроение того или иного эпизода требует в фильме включения музыкального сопровождения, даже если оно не было предусмотрено в спектакле. Так, например, в финале фильма «Стена» на поклонах и аплодисментах рефреном вновь возникает печальная музыкальная тема из самого спектакля. Такое решение позволило переадресовать аплодисменты от исполнителей к их персонажам.

Заключение

Особенности экранизации театральных постановок в стереоскопическом формате заключаются в различиях восприятия с киноэкрана обычного и стереоскопического изображений. Это касается особенностей композиционного построения кадра и монтажно-композиционного построения всего фильма, расположения камер на более близких дистанциях к театральной рампе, использования диагональных точек съёмки для создания многопланового внутрикадрового мизансценирования.

Экранизация театральных постановок в стереоскопическом формате позволяет создавать произведения экранной формы более близкими к живой театральной постановке, а значит, более эмоционально воспринимаемыми кинозрителем. Пространственное трёхмерное киноизображение воспроизводит на экране более полную и верную картину сценографии, независимо от жанра театрального произведения, будь то драматический спектакль, балет или опера, а потому является более совершенным форматом для сохранения театрального произведения для будущих поколений. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Мелкумов А.С. «Стереоскопический кинематограф: теория и практика производства стереофильмов», учебное пособие ВГИК, 2013. С. 31.
2. Головня А.Д. «Мастерство кинооператора», М.: «Искусство», 1995. С. 89.
3. Мелкумов А.С. «Стереоскопический кинематограф: теория и практика производства стереофильмов», учебное пособие ВГИК, 2013. С. 130.



САМЫЕ ПЕРВЫЕ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА

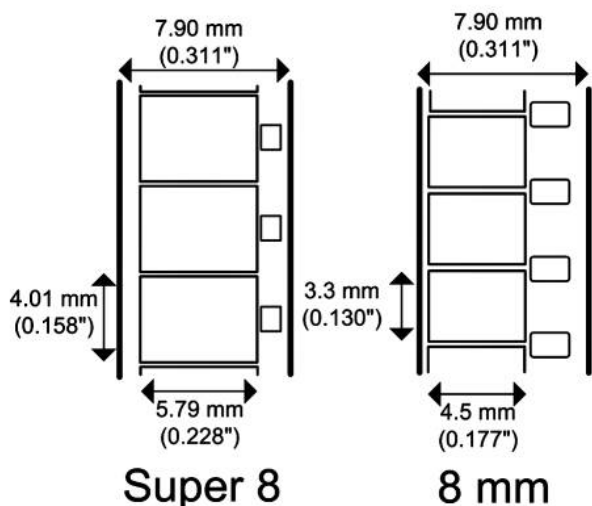


Н.А. Майоров, henrymay@mail.ru, cinemafirst.ru,
режиссёр-оператор, киновед, член Союза кинематографистов РФ

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

■ 1965

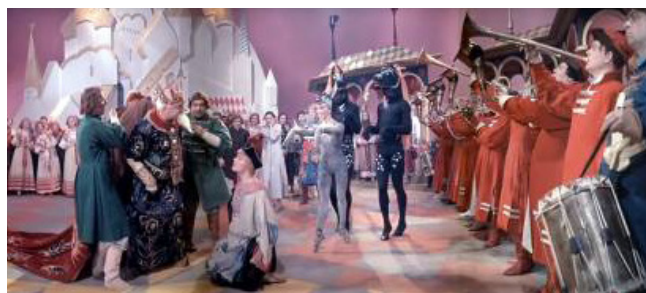
– Фирма «Kodak» начала производство киноплёнки «Super 8».



В новом формате на плёнке шириной 8 мм, за счёт уменьшения размеров перфорации и увеличения шага кадра до 4,23 мм, увеличилась площадь кадра на 30%. В отличие от стандартного размера перфораций киноплёнок 8 и 16 мм, на плёнке «Super 8» перфорации рас-

положены длинной стороной вдоль киноплёнки и имеют размер 0,92×1,14 мм. Размеры экспонируемого кадра составляют 5,69×4,22 мм, а на экран проецируется участок 5,36×4,01 мм. Достаточная скорость фонограммы обеспечивается при частоте съёмки 18 кадров в секунду. Смещение фонограммы составляет 18 кадров относительно изображения.

1966



Кадр из фильма «Cinerama's Russian Adventure» (1966)

– 29 марта в США выпущен на экран **первый советско-американский панорамный фильм «Cinerama's Russian Adventure»** (Русские приключения Синерамы). Фильм снимался по советской трёхплёночной системе «Кинопанорама». Демонстрировался на 70-мм копии, напечатанной с трёх негативов.

– 21 декабря в Чикаго началась демонстрация **первого полнометражного игрового стереоскопического фильма**



Рекламный плакат к фильму «Cinerama's Russian Adventure» (1966)



35-мм позитивы из фильма «The Bubble» (Мыльный пузырь) (1966)



Кругорамный кинотеатр Circle-Vision 360 в Диснейлэнде (Disneyland) (1967)



Установка из 11 кинокамер по системе «Circle-Vision 360»

«The Bubble / Fantastic Invasion of Planet Earth» (Мыльный пузырь / Фантастическое вторжение на планету Земля), снятого по системе SpaceVision (Спейсвижн) на 35-мм киноплёнке с вертикальной стереопарой (кадр над кадром) в пределах площади стандартного кадра.

1967

– 10 апреля австралиец Питер Рональд Райт Джонс (Peter Ronald Wright Jones) подаёт заявку на получение патента на изобретённый им механизм транспортировки плёнки «Бегущая петля» (Rolling Loop).

– 25 июня открыт кинотеатр круговой кинопанорамы Диснея в Disneyland, первый по системе Circle-Vision 360, где демонстрировался «America the Beautiful» (Америка прекрасна) – последний кругорамный фильм, снятый при жизни Диснея.

– 5 июля, в рамках Пятого Московского Международного кинофестиваля, проходившего с 5 по 20 июля 1967 года, впервые проводился конкурс детских фильмов. В конкурсной программе было показано 44 фильма.

1968

– 30 апреля в московском кинотеатре «Октябрь» началась демонстрация на растровом экране стереоскопического фильма «Нет и да» – первого стереоскопического игрового фильма, снятого по советской системе «Сtereo 70».

– 1 ноября в США введён стандарт МРАА (Motion Picture Association of America – Американская ассоциация кинокомпаний), установивший возрастные ограничения на просмотр фильмов.

Были установлены следующие возрастные ограничения:

- G (general audiences – без возрастных ограничений);
- M (mature audiences – без возрастных ограничений в сопровождении родителей), позднее переименован в PG (parental guided – под контролем родителей);
- R (restricted – дети до 16 лет без сопровождения взрослых не допускаются);
- X (зрители до 17 лет не допускаются); в 70-годы «X» был заменён на NC-17 (no children under 17 admitted – кроме детей до 17 лет)
- PG-13 (допускаются дети от 13 лет только в сопровождении родителей).

1969



Реклама фильма «Senya Ichiya Monogatari» (Сказки 1001 ночи)

– 14 июня на экраны Японии выпущен **первый полнометражный эротический мультфильм** – «*Senya Ichiya Monogatari*» (**Сказки 1001 ночи**), режиссёр Осаму Тэдзука.



Кадр из фильма «*Senya Ichiya Monogatari*» (**Сказки 1001 ночи**) (1969)

1970



Кадр из фильма «*Tiger Child*» (**Потомок тигра**) (1970)

– 15 мая в Японии, в Фуджи Павильон (Fuji Pavilion) на Всемирной выставке «ЭКСПО-70» (EXPO'70) в городе Осака (Osaka) проходит первая демонстрация фильма «*Tiger Child*» (Потомок тигра), снятого кинокомпанией «Asuka Production Inc.» (Асука Продакшен Инк.) по системе «**IMAX**» (Аймакс), разработанной канадской фирмой «**Multiscreen Corporation Limited**» (Мультискрин Корпорейшен Лимитед).



Фуджи Павильон (Fuji Pavilion) на Всемирной выставке «Экспо-70» (Expo'70)

1971

– Начало четырёхканальной записи звука «**Квадрофония**». **Квадрофония** – разновидность стереофонической записи и воспроизведения звука с использованием четырёх независимых каналов. Если двухканальная запись стереозвука позволяет получить при воспроизведении панорамное звучание в одной плоскости, то квадрофоническая запись позволяла создать не только окружающий слушателя звук, создавая ощущение нахождения «внутри звука», но и движение звука внутри пространства. Ограниченное распространение в быту квадрофонической звукозаписи в 70–80 годах прошлого века объясняется высокой стоимостью аппаратуры. В конце 20 века интерес к квадрофонической записи вернулся благодаря созданию новых систем записи и воспроизведения многоканального звука для кинематографа.

1973



Кадры из фильма «*Нейлон 100%*» (1973)

– 17 декабря выпущен на экран «**Нейлон 100%**» – **первый цветной широкоэкранный художественный фильм, снятый по советской системе «Универсальный формат кадра»** (МТК 2012-4(6): №26).

1976

– Вышел на экран «**A Star Is Born**» (Звезда родилась) – **первый полнометражный игровой фильм с четырёхканальной фонограммой по системе Dolby Stereo**.

Dolby Stereo – это аналоговая четырёхканальная система стереофонического звука, где левый и правый канал использовался для записи музыки и фронтальных эффектов, на центральный канал записывались диалоги, а четвёртый канал обеспечивал создание объёмного звука (surround) на тыловых динамиках.

Первыми для воспроизведения фонограмм по системе Dolby Stereo стали переоснащаться кинотеатры, в которых уже были усилители и динамики для демонстрации широкоэкранных фильмов по системе **CinemaScope** с **четырёхдорожечной магнитной фонограммой**. Массовое переоборудование кинотеатров под новую звуковую систему началось после выхода в прокат 25 мая 1977 года первой серии «*Star Wars*» (Звёздных войн), в которой новая четырёхканальная система создавала отличный звуковой эффект. Главнейшим достоинством новой звуковой системы являлась её полная совместимость с традиционной звуковой системой: одна и та же копия фильма могла демонстрироваться в любом кинотеатре – и оборудованном старой монофонической аппаратурой звуковоспроизведения, и в кинотеатрах с уже установленной звуковой системой Dolby Stereo. Успех системы Dolby Stereo привёл к окончательному отказу от использования магнитной фонограммы на 35-мм фильмокопиях. ■

Продолжение следует