

2019-1(13) СОДЕРЖАНИЕ



стр. 3



стр. 8



стр. 20



стр. 30

Технологии

В.П. Андреев, В.Н. Карбанов, С.В. Кувшинов, kuvshinovs58@mail.ru,
В.Е. Пряничников, К.В. Харин
**Технологии трёхмерной визуализации для моделирования управления
территориально-распределёнными мобильными роботизированными устройствами** **3**

Н.К. Трубочкина, ntrubochkina@hse.ru
Технологии цифрового искусства **8**

О.Н. Раев, ncenter@list.ru
**Особенности записи внесевых точек изображения
при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом,
относительно светочувствительного слоя** **15**

Доклады

В.Н. Костин, valankon@mail.ru, А.Н. Сологубов
Акустические системы пространственного поля (АСПП) **20**

Г.И. Грейсух, subscribing_2002@mail.ru, С.А. Степанов, А.И. Антонов,
В.А. Данилов, Б.А. Усиевич
**Гармонические киноформные микроструктуры
в дифракционной оптике и голографии** **24**

Страницы истории кино

Н.А. Майоров, henrymay@mail.ru, cinemafirst.ru
Кинопанорама. Забытый юбилей **30**

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

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

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: Филиал «НИКФИ» АО «ТПО «Кино студия им. М. Горького», ООО «ИПП «КУНА»

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

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

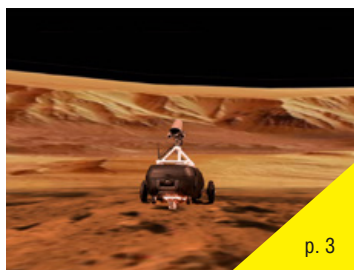
Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5 п.л. Заказ № 150708.
Тираж 999 экземпляров.

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

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

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

2019-1(13) CONTENT



p. 3



p. 8



p. 20



p. 30

Technology

V. Andreev, V. Karbanov, S. Kuvshinov, *kuvshinovs58@mail.ru*, V. Pryanichnikov, K. Kharin
Three-dimensional visualization technologies for modeling of control system for geographically distributed mobile robotic devices **3**

N. Trubochkina, *ntrubochkina@hse.ru*
Technologies of digital art **8**

O. Raev, *ncenter@list.ru*
Features of recording of the off-axis points of the optical image formed by the lens at longitudinal displacement relative to the light-sensitive layer **15**

Reports

V. Kostin, *valankon@mail.ru*, A. Sologubov
Spatial field acoustic systems **20**

G. Greisukh, *subscribing_2002@mail.ru*, S. Stepanov, A. Antonov, V. Danilov, B. Usievich
Harmonic kinoform microstructures in diffractive optics and golography **24**

Movie history

N. Maiorov, *henrymay@mail.ru*, *cinemafirst.ru*
Kinopanorama. Forgotten anniversary **30**

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.

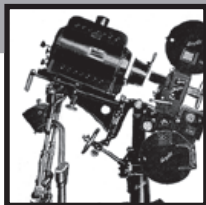
www.mtk-magazine.ru,
e-mail: kevin@paradiz.ru,
tel.(fax): +7 (495)795-0297,795-0299

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. Peregodov, RTR, RF
Ph.D. I. Barsky, VGIK, Moscow, RF
Ph.D. O. Raev, VGIK, Moscow, RF
Ph.D. A. Volkov, Ministry of Culture RF.

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

Printed in Russia.



ТЕХНОЛОГИИ ТРЁХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

для моделирования управления территориально-распределёнными мобильными роботизированными устройствами



В.П. Андреев, д.т.н., В.Н. Карбанов, С.В. Кувшинов, к.т.н., kuvshinovs58@mail.ru, В.Е. Пряничников, д.т.н., К.В. Харин, Москва, РГГУ, РФ

Аннотация

Обсуждаются проблемы создания учебно-тренировочного ситуационного центра для подготовки специалистов управления мобильными робототехническими системами на основе концепции территориально-распределённых центров. В составе центра – виртуальная студия реального времени, с помощью которой происходит компьютерное моделирование в стереорежиме трёхмерных сцен. В ней должны перемещаться реальные мобильные роботы. Управление мобильными роботами осуществляется через VPN-каналы Интернета.

Ключевые слова: виртуальная 3D студия, учебно-тренировочный ситуационный центр, мобильные роботы, территориально-распределённая лаборатория, моделирование в реальном времени, локальная вычислительная сеть.

THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION TECHNOLOGIES FOR MODELING OF CONTROL SYSTEM FOR GEOGRAPHICALLY DISTRIBUTED MOBILE ROBOTIC DEVICES

V. Andreev, Dst, V. Karbanov, S. Kuvshinov, Ph.D, kuvshinovs58@mail.ru, V. Pryanichnikov, Dst, K. Kharin, Moscow, RGGU, Russia

Abstract

The problems of creating a training situational center for the specialists training in the control of mobile robotic systems based on the concept of geographically distributed nodes are discussed. An important part of the training center is a real-time virtual studio used for stereo mode computer simulation in three-dimensional scenes, where the real mobile robots should move. Mobile robots are controlled via VPN-channels on the Internet.

Keywords: virtual 3D studio, training situational center, mobile robots, geographically distributed laboratory, real time simulation, local area network (LAN).

Введение

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) часто возникает необходимость выполнения работ группой роботов. «Исследования, выполненные различными научными центрами и компаниями в области роботостроения, показали, что создание группировки

мобильных роботов, действующих как единый взаимосвязанный комплекс, является одной из основных задач по разработке эффективной интеллектуальной безлюдной технологии, способной работать в боевых условиях, в том числе, при ликвидации тяжёлых ЧС» [1]. Также, в целом ряде случаев возникает необходимость в опе-

ративном получении консультаций тех или иных специалистов или в доступе к какой-либо базе данных. Следовательно, информационное обеспечение данного вида работ и подготовка будущих специалистов, операторов являются важнейшими задачами. Аналогичная задача ставится и в области построения робототехнических систем космического назначения. Так, в работе [2] сформулированы основные направления развития робототехнических систем космического назначения, где, в частности, указано, что «Основными направлениями при решении технологических задач являются: ... – разработка способов группового управления робототехническими системами космического назначения различного вида, а также их информационного взаимодействия; – развитие методов дистанционного управления автономными робототехническими системами космического назначения на базе сетевых технологий, самодиагностики и самообучения; – организация развитого человеко-машинного интерфейса...».

В обоих случаях задача может быть эффективно решена посредством создания учебно-тренировочного ситуационного центра, оснащённого трёхмерной системой визуализации и программно-аппаратными средствами поддержки информационно-аналитической и управленческой деятельности. Такая постановка задачи естественным образом приводит к её решению через создание многоуровневой иерархической системы формирования и обмена информационными и управляющими потоками данных. Это, в свою очередь, приводит к необходимости поиска механизма, посредством которого можно разрешить проблему информационного взаимодействия группы мобильных роботов (МР) и постов управления, обслуживаемых несколькими операторами одновременно, а также ситуационного центра, как вершины иерар-

хии [3]. Необходимым условием такого взаимодействия является организация коммуникационных каналов, которые позволяют располагать единый командный центр ситуационного управления за много километров от зоны работ. Следует учитывать, что работы обычно ведутся с помощью мобильных роботов, которые не должны быть ограничены в свободе перемещения, что обеспечивается наличием радиоканала. Кроме того, пропускная способность коммуникационных каналов должна обеспечивать передачу многопоточкового 3D видео с систем технического зрения (СТЗ) мобильных роботов, как к постам управления, так и в ситуационный центр.

Структура территориально-распределённого учебно-тренировочного ситуационного центра

Решение данной задачи, по нашему мнению, лежит в использовании сетевых технологий. При данном подходе существенным является то, что все элементы комплекса оказываются мобильными узлами локальной вычислительной сети (ЛВС). Структура такого центра приведена в работе [4].

При реализации структуры с ситуационным центром весьма полезным оказывается опыт создания и эксплуатации учебно-научной сетевой распределённой лаборатории в Международном институте новых образовательных технологий РГУ (МИНОТ) и Международной лаборатории «Сенсорика» [4]. Она предназначена для удалённого управления мобильными роботами, а также для обучения специалистов [5,6]. Использование сетевых технологий позволило объединить несколько мобильных роботов, систем сопровождения (escort) («спутников»), репитеров и пультов управления в локальную вычислительную сеть. В качестве среды передачи информации был использован Internet. Для обеспечения защищённо-



Рис. 1. Схема территориально-распределённого ситуационного центра

сти от несанкционированного доступа объединение было выполнено посредством VPN-каналов. Проведены работы по объединению через VPN-каналы в единую сеть учебных мобильных роботов, расположенных в здании МИНОТ, в здании ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, в МГТУ «Станкин» в Москве и в ИАПУ ДВО РАН (г. Владивосток).

Исследования, выполненные на этой структуре, позволили сформулировать принципы построения и функционирования учебно-тренировочных ситуационных центров для Федерального Агентства по АЭ и МЧС, широко использующих различные робототехнические системы. Было разработано программное обеспечение (ПО), позволяющее не только удалённо видеть трёхмерную «сцену», но и удалённо управлять этими роботами по созданной технологии преодоления неравномерностей и задержек в каналах связи. Вычислительная сеть построена на базе стека протоколов tcp/ip, поскольку такое решение в настоящее время широко распространено и хорошо себя зарекомендовало. Сети на базе стека протоколов TCP/IP хорошо масштабируются и имеют множественные технические реализации, что позволяет объединять различные программно-аппаратные модули всех элементов комплекса в единую сеть. Тогда задача сводится к созданию локальной вычислительной сети, узлами которой становятся все мехатронные устройства: цифровые IP-телекамеры, вычислительные устройства, устанавливаемые на борту робототехнического устройства и на выносных модулях сопровождения, и репитерах, с одной стороны, и вычислитель на пульте оператора, и компьютеры ситуационного центра, с другой стороны; каждый со своими IP-адресами из одной сети.

Многоуровневая система управления

В результате исследований по созданию виртуальной распределённой лаборатории с использованием технологий трёхмерной визуализации был создан механизм управления работой сразу нескольких мобильных роботов. Для этого случая была построена многоуровневая система управления [3]. Первый уровень – это собственно ЛВС мобильного робота, объединяющая мехатронные системы информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) МР. Второй уровень – это объединение бортовой ЛВС и ЛВС поста управления через радиоканал. Третий уровень – это ЛВС отдельных робототехнических комплексов, объединённые в единую ЛВС (ЛВС с мобильными узлами) через соответствующие коммуникационные каналы. Четвёртый уровень – это объединение ЛВС отдельных группировок МР и ЛВС «Ситуационного центра» в единую ЛВС через VPN-каналы Интернет. В данной структуре командир видит всю трёхмерную сцену и получает видеoinформацию с СТЗ всех участвующих в работе МР и модулей сопровождения. При построении ЛВС на базе стека протоколов tcp/ip оказывается достаточным включить в эту сеть на любом уровне ПК командира и обеспечить компоненты системы соответствующим сетевым ПО.

В качестве основы для создания такого программного обеспечения было взято программное обеспечение учебно-тренировочного класса электронных тренажёров, разработанное в Международной лаборатории «Сенсорика» для ИТУЦР ФА АЭ [7]. Этот класс предназначен для обеспечения качественной подготовки и регулярной тренировки операторов наземных робототехнических комплексов и дистанционно управляемых систем. Помимо определения структуры сети, была решена задача формирования общей сцены при взаимодействии до семи роботов, управляемых семью операторами. Взаимодействие программных компонент осуществляется через классический механизм сообщений без использования механизмов параллельного исполнения. В этом случае обработка команд пользователя, передача данных по сети и т.п. осуществляется не раньше, чем завершится текущий цикл обработки сообщений. Изменение цикла обработки сообщений позволило существенно уменьшить время реакции модели робота на команды управления, поступающие от удалённого оператора [8,9]. Структура позволяет организовать подключение к глобальной сети Интернет в любой её точке, т.е. там, где эта сеть доступна.

Виртуальная 3D студия реального времени для отработки навыков операторов

Для отработки навыков управления мобильными роботами в условиях учебно-тренировочного ситуационного центра была использована 3D виртуальная студия, с помощью которой происходит отработка сложных алгоритмов перемещений МР в реальном времени в моделируемом трёхмерном пространстве. При этом в действительности мобильные роботы перемещаются на фоне зелёного экрана хромакея.

Изображения с внешней видеокамеры и телекамеры МР в реальном времени в стереоформате интегрируются в виртуальное трёхмерное пространство, которое может представлять собой тренировочный полигон с различным рельефом и препятствиями. Пример одной из моделей площадки для отработки учебной ситуации показан на рис. 2.



Рис. 2. Модель виртуальной учебной площадки ситуационного центра

Работа в трёхмерном виртуальном пространстве учебно-тренировочного ситуационного центра стала возможной благодаря использованию специализированного программного продукта EasySet3D. Представляется весьма актуальной задача применения виртуальных студий и 3D графики в тренажёрных системах реального времени. Особое внимание заслуживают наиболее универсальные и адаптируемые под задачу визуализации 3D сцен виртуальные студии (ВС), которые:

- обеспечивают возможность работы в реальном времени с несколькими телекамерами;
- имеют мощный и быстрый 3D и стереоскопический рендер реального времени;
- работают как в режиме интерполяции, так и с трекингом позиций телекамер;
- используют открытую платформу и программы импорта графики;
- имеют простой и интуитивно понятный интерфейс.

Программный продукт EasySet3D в наиболее полной форме удовлетворяет сформулированным выше критериям. Система имеет самый быстрый в индустрии рендер 3D и стереовизуализации, открытую платформу HP и Nvidia Quadro, оснащена встроенной поддержкой хромакей, имеет виртуальные телекамеры, эмулирующие плавные передвижения в виртуальной среде, микшер с предварительным просмотром и линейкой программируемых под конкретную задачу анимационных эффектов (productions), генератор эффектов и многие другие функции, присущие традиционному телевизионному комплексу. Удобный пользовательский интерфейс позволяет создавать и импортировать сложные и реалистичные виртуальные трёхмерные сетки буквально в несколько кликов компьютерной мыши, с использованием поставляемых в комплекте с основным ПО пополняемых библиотек сетов и элементов. В системе сочетаются: простота управления, мощная 3D обработка в реальном времени программного продукта Brainstorm eStudio, возможность работать в «экономичном» режиме с виртуальными телекамерами без использования внешних трекинговых систем и хромакея, альтернативная возможность работы в режиме High-end с внешним аппаратным хромакеем и системами трекинга камерных устройств. Дополнительно следует указать эффективность использования функции виртуальных телекамер, их свободные и плавные перемещения из задаваемых позиций с требуемыми скоростями, обширную библиотеку задних фонов, стен, полов, видеозэкранов, уже готовых к использованию виртуальных сетов.

Для отработки задачи визуализации и отображения в 3D среду, прежде всего, нами были разработаны 3D сцены, в которых могут перемещаться МР, соответствующие местам предполагаемого использования роботизированных устройств. Помимо моделей сцен, были созданы несколько полигональных 3D моделей внешних артефактов, затем для них созданы текстуры и записаны анимационные слои с соответствующими контрол-

лерами, которые были импортированы в виртуальную студию. Также непосредственно в виртуальной студии в реальном времени записывались анимационные эффекты, так называемые «продакшинс».

На данной стадии создания учебно-тренировочного ситуационного центра не использовались роботизированные съёмочные системы с трекингом. То есть, съёмка движения мобильных роботов проводилась на зелёном фоне с использованием статичной телекамеры без оператора. Изображение на экране оператора мобильного устройства оставалось, таким образом, плоским, и эффекты «изменения перспективы съёмки» достигались только за счёт сложных интерполяционных алгоритмов, имеющих существенные ограничения для их применения, т.е. использовалась технология виртуальной студии без трекинга. В настоящее время такой подход принято также считать виртуальной студией, не использующей трекинговые системы, но позволяющей в реальном времени интегрировать в трёхмерную виртуальную среду людей и робототехнические объекты, снимаемые на синем или зелёном фоне.

ПО EasySet3D обеспечивает свободные перемещения в трёхмерной среде с соответствующим масштабированием снимаемых объектов с использованием интерполяционных вычислений и специальных подпрограмм.

Виртуальной студией с трекингом, или виртуальной студией в классическом понимании, принято считать программно-аппаратный комплекс, позволяющий в реальном времени интегрировать объекты, снимаемые при движении реальной телекамеры, в трёхмерную (созданную человеком) компьютерную среду (сет). При этом результирующее видео виртуальной телекамеры должно визуализироваться в реальном времени синхронно, в той же перспективе, то есть при изменении угла съёмки реального объекта соответственно меняется угол обзора виртуальной студии. Таким образом, в каждый момент времени виртуальная сцена должна отслеживать соответствующее местонахождение реальной телекамеры по всем осям её движения и во всех режимах (панорамирование, наклон, приближение, удаление, масштабирование). При соблюдении этих условий видео получается полноценным.

Трекинговые системы осуществляют отслеживание положения телекамер в каждый момент времени и представляют собой комплексы высокочастотных датчиков, фиксирующих движение телекамер по трём координатам и всем осям движений. Такие комплексы могут иметь самые разные принципы построения. Наиболее широкое применение получили механические трекинговые системы, а также оптические, магнитные и с использованием инфракрасных телекамер (расположенных по периметру виртуальной студии и с мишенями на телекамерах). Наилучшие результаты получаются при использовании трекинговых систем, интегрированных в специализированные роботизированные комплексы с рельсовыми, телескопическими и поворотными системами.

Степень реализма виртуальной студии определяется непосредственно её характеристиками и возможностями, а также используемыми графической и аппаратной платформами. Проведённые эксперименты показали, что оптимальные результаты достигаются в системах, использующих рабочие станции HPz840 с графическими картами Nvidia Quadro серий 5000/6000/5K/6K. Платы захвата HD SDI видео и программного выхода SDI Out, по мнению авторов, лучше использовать Nvidia, при этом будет соблюдаться полная совместимость плат и наибольшая скорость комбайна видеообработки (видеозахват, графическая обработка и выход). Даже экономически, при необходимости одновременного использования нескольких видеовходов HD SDI, комбайн Nvidia наиболее целесообразен. Как показывает практика, помимо Nvidia также удовлетворительно работают платы AJA Kona 3G, BlueFish, DeckLink с ограничениями [10].

Перспектива

На следующем этапе с учётом аккумулированного опыта предполагается оснащение учебно-тренировочного ситуационного центра виртуальной студией с программным обеспечением EasySet3D и Infinity, работающих на роботизированных съёмочных комплексах Telemetrics (системы удалённого контроля телекамер RCP1 STS, линейкой поворотных систем, трековыми системами Teleglide, телескопической системой, специализированными телекамерами RoboEye для работы с MP, интерфейсами контроля и базовыми станциями с оптоволоконными каналами связи) с встроенными опциями трекинга. Такие комплексы обеспечат плавные конвергентные движения телекамер с требуемыми скоростями, переходами, позволяющими в полной мере ощутить объём сцен, в которых перемещаются мобильные роботы.

Виртуальные студии Infinity во многом базируются на EasySet 3D. Тем не менее, Infinity имеет ряд уникальных функций, таких как: технология Trackfree, сочетающая достижения трекинговых и безтрекинговых технологий, выделенный 3D объём, переносимый в нужное видео, пересчёт плоского объекта в 3D, виртуальные тени от плоских объектов и т.д. Вместе с тем, данный продукт по сравнению с EasySet3D в несколько большей мере ориентирован на использование специалистами, уже знакомыми с приёмами работы EasySet3D на практике.

Заключение

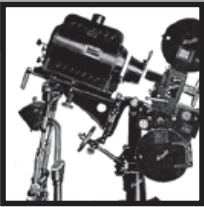
Технологии 3D виртуальных студий реального времени позволят интегрировать движение мобильных роботов и 3D модели сцен в сложную компьютерную среду (например, лунные или марсианские поверхности, сложные строительные рельефы) и реалистично визуализировать отработку их взаимодействия и управления.

Использование предложенного подхода для создания учебно-тренировочного ситуационного центра позволит сделать процесс обучения более эффективным и адек-

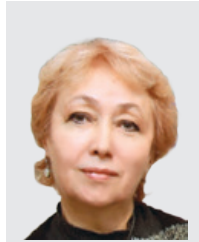
ватным для случаев сложных внешних условий. Это достигается путём использования данных от мобильных робототехнических систем, обрабатываемых распределёнными локальными центрами управления, и системой трёхмерной визуализации обстановки и перемещений мобильных роботов в реальном времени в стереорежиме. Данное решение позволит осуществлять подготовку будущих специалистов на более высоком качественном уровне. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Копылов Н.П., Цариченко С.Г. Концепция развития робототехники в интересах МЧС России. Экстремальная робототехника. Нано-микро- и макророботы (ЭР-2009) / Материалы XX Международной научно-технической конференции. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 390 с. С. 26–28.
2. Минаков Е.П., Лопота В.А., Юревич Е.И., Кондратьев А.С. Концепция развития робототехнических систем в интересах пилотируемой космонавтики, исследования Луны и планет солнечной системы. Экстремальная робототехника. Нано-микро- и макророботы (ЭР-2009) / Материалы XX Международной научно-технической конференции. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 390 с. С. 103–106.
3. Andreev V. Geographically distributed “multi-operator” Control for Mechatronic Devices via the Internet / Andreev V., Pryanichnikov V., Kirsanov K. // Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium., B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN: 978-1-5108-1839-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria. 2015. Curran Associates, Inc., New York, Feb. 2016. – pp. 0004-0011.
4. Scientific-Educational Distributed Laboratory - Software and Hardware Means / Pryanichnikov V., Andreev V., Bobrov P., Biryukova E., Frolov A., Kharin K., Kirsanov K., Kostin A., Kuvshinov S., Marzanov Y., Prysev E. / Annals of DAAAM for 2012& Proceedings of the 23th international DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation” 24-27th October 2012 Zadar, Croatia, ISSN 2304-1382, 2012. – V.23, No.1. – P. 1175–1178.
5. Education on the basis of virtual learning robotics laboratory and group-controlled robots / Andreev V., Pryanichnikov V., Poduraev Y., Kuvshinov S. / 24th DAAAM Int. Symp. on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013. Procedia Engineering, 2014. – V.69. – P. 35–40.
6. Кувшинов С.В. Использование современных IT технологий для создания интерактивной образовательной среды с применением динамических трёхмерных моделей / Интеллектуальные и адаптивные роботы 1–2, 2009. с. 93–96.
7. Андреев В.П., Кирсанов К.Б., Левинский Б.М., Прянничников В.Е., Травушкин А.С. Создание класса электронных тренажёров на основе быстродействующей локальной вычислительной сети / Информационно-измерительные и управляющие системы, М.: Радиотехника, 2009. -Т.7, №6. – С. 82–92.
8. Stopper, M. & Katalinic, B.: Service-oriented Architecture Design Aspects of OPC UA for Industrial Applications, Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists 2009, Vol II, ISBN: 978-988-17012-7-5, IMESC 2009, March 18–20, 2009, Hong Kong.
9. Andreev V.P., Pryanichnikov V.E. & Prysev E.A. Multi-Access Control of Distributed Mobile Robotic Systems Based on Networking Technologies / Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2010, pp. 15–16.
10. Карбанов В.Н. Виртуальные студии / 625PlusHD, №1 (195), 2014, с. 18–21.



ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ИСКУССТВА



Н.К. Трубочкина д.т.н., ntrubochkina@hse.ru, Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики, РФ

Аннотация

В качестве новых инструментов цифрового художника в статье рассмотрены следующие цифровые технологии создания изображений: создание абстрактных изображений с помощью нейросети без входного изображения, на основе психо-эмоционального состояния художника; создание изображений с помощью нейросети – стилизатора, на входе которой есть базовое изображение и файл стилизации (картина художника, файл текстуры, другое изображение); технология программной стилизации и обработки изображений, и технология фрактальной визуализации. Разработанные технологии и описанные алгоритмы могут быть полезны цифровым художникам таких творческих направлений как: дизайн, графика, живопись, архитектура, кинематограф, VR, световые инсталляции.

Ключевые слова: цифровое искусство, технология, нейросеть, стилизатор, базовое изображение, программная стилизация, фрактальная визуализация, дизайн, графика, живопись, архитектура, кинематограф, VR, световые инсталляции.

■ Введение

Компьютерное, или **цифровое искусство** – направление в искусстве, основанное на использовании информационных технологий, результатом которого являются художественные произведения в цифровой форме [1]. Это искусство возникло как реализация потребности в «новой свежей крови» для традиционных искусств, работающих в рамках своих привычных технологий. Любой объект или явление, не развивающееся, постепенно деградирует, становится скучным, ненужным, его забывают, и чтобы выжить, ему необходимо обновление. А обновление искусств – в новых технологиях, новых формах, подходах, принципах и постулатах.

TECHNOLOGIES OF DIGITAL ART

N. Trubochkina, Dst, ntrubochkina@hse.ru, National Research University Higher School of Economics, Russia

Abstract

As a digital artist's tools, the following digital imaging technologies were considered in the article: creating abstract images using a neural network without an input image, base don't he artist's psycho-emotional state; creation of images using a neural network - a stylist, at the entrance of which there is a base image and a stylization file (artist's picture, texture file, another image); technology of soft ware stylization of image processing and technology of fractal visualization. The developed technologies and the described algorithms can be useful for digital artists of such creative areas as: design, graphics, painting, architecture, cinema, VR, light installations.

Keywords: digital art, technology, neural network, stylist, base image, soft ware stylization, fractal visualization, design, graphics, painting, architecture, cinema, VR, light installations.

Традиционные визуальные искусства: живопись, графика, дизайн, архитектура, кино – именно сейчас переживают этап обновления, связанный с новыми цифровыми технологиями, и, как следствие, с появлением новых для традиционных искусств форм визуализации.

Обзор предметной области

Исторически визуальные искусства дополнялись новыми технологиями и формами примерно в такой последовательности.

Сначала появилась цифровая фотография [2], затем цифровое кино [3] и компьютерная графика [4] (рис. 1), потом 3D графика [5,6] и кино [7], стереоизображе-

ния и кино [8,9], голографические изображения и кино [10,11,12,13] (рис. 2,3), виртуальная [14] (рис.4) реальность (VR), световые и смешанные инсталляции.

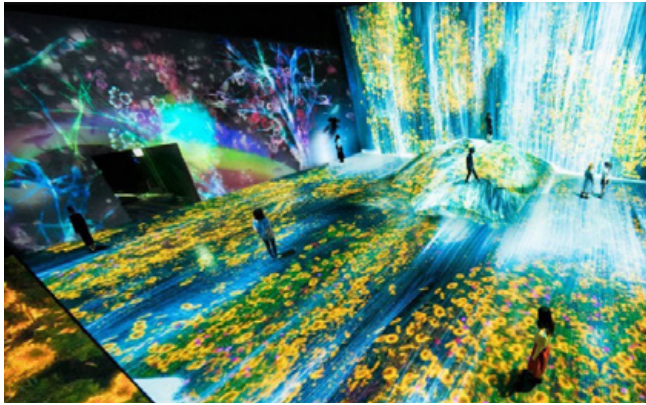


Рис. 1. В Токио представлена самая крупная цифровая выставка [6], 2018 год



Рис. 2. Голографическое визуальное искусство [9], 2014 год



Рис. 3. В.Г. Комар, НИКФИ, 2010 год. Цветной голографический экран [10]



Рис. 4. Без дополнительных устройств для глаз восприятие виртуального искусства невозможно [14], 2018 год

Последние достижения в области художественной голографии [11] связаны с созданием оптоклонов для ультрареалистичных полноцветных голограмм. Воспроизводимые ими изображения объектов практически неотличимы от самих оригиналов. Эту технологию разработали на основе комплексных исследований, включающих в себя новые фоторегистрирующие среды, новые оптические компоновки лазерных RGB-систем и специальные светодиодные устройства с управляемым спектром. Результатами таких научно-исследовательских работ стали: голографические фотопластины со стабильно высокими качественными показателями; мобильные

голографические камеры, приспособленные для работы непосредственно в музейных помещениях; возможность индивидуальной настройки осветителей для каждого создаваемого оптоклона.

VR-искусство в настоящее время по большей части представляет собой перенос привычных художественных произведений в виртуальную реальность. Например, это VR-кинематограф или VR-живопись, т.е. отчасти «виар» служит лишь инструментом для других видов искусств [14]. Отличительная черта VR-живописи – это чаще всего трёхмерность изображения, анимация, а также дополнительные эффекты, например, музыкальный ряд, помогающий ещё сильнее прочувствовать красоту того или иного произведения искусства.

Недавно в искусстве, как новые инструменты, начали применяться нейросети и искусственный интеллект, с помощью которых стали обрабатывать изображения и видео. Программисты начали писать программы, обрабатывающие изображения по их собственным алгоритмам на основании поставленной ими же самими задачи.

Математика (фрактальная) также внесла свой вклад в создание таких направлений, как математическая (фрактальная) графика, живопись, кино и архитектура.

Рассмотрим новые направления и инструменты визуализации (с помощью искусственного интеллекта (нейросети), программистские и математические) более подробно.

Цифровые технологии для создания изображений

Использовать компьютер при создании изображения можно по-разному: можно просто рисовать на компьютере, можно использовать различные нейросети, а можно программировать, решая различные задачи традиционного художника.

Нейросети, как новые инструменты цифрового художника

Существует несколько типов нейросетей для визуализации. Они могут решать различные задачи:

1. Нейросеть-синтезатор может синтезировать абстрактные изображения с учётом психо-эмоционального состояния цифрового художника [15] (рис. 5).

2. Нейросеть-стилизатор может стилизовать базовое изображение. Базовыми изображениями могут быть файлы: фото, модифицированных на компьютере фото, компьютерных рисунков, отсканированных «ручных» рисунков, фракталы, модифицированные фракталы. Короче, любой графический файл. Именно базовый файл определяет содержание художественного произведения. Стилизирующим изображением может быть любое другое



Рис. 5. Синтез нейросетью абстрактных изображений. Результаты работы креативной состязательной нейросети (GAN) [15,16]

изображение, например, картина известного или неизвестного художника (рис. 6). Именно стилизующее изображение будет задавать стиль базовому изображению. Если вы хотите создать свой стиль, нужно разработать файл этого стилизующего изображения.

3. Нейросеть-постобработчик может масштабировать (увеличивать) и корректировать (убирать «шум») полученных изображений.

Нейросеть – синтезатор

Уже есть нейросети, имитирующие создание абстрактных изображений, однако трудно утверждать, что произведения искусственного интеллекта имеют хотя бы какую-нибудь самостоятельную эстетическую ценность [15,16]. На (рис. 5а,б) изображены результаты работы такой нейросети-синтезатора.

В области живописи второй тип нейросетей – нейросети-стилизаторы умеют применять стили различных известных художников к любым изображениям – рисункам или фотографиям. Однако, если в результате такой обработки и возникает что-то эстетически значимое, «соавтором» такого «произведения искусства» всё равно является человек. Рассмотрим подробнее, как работают нейросети-стилизаторы.

Нейросеть-стилизатор. Объяснение алгоритма

Алгоритм стилизует изображения с использованием CNN (свёрточной нейронной сети) [17]. Нейронная сеть обучается заранее, и при стилизации изображений её дальнейшее обучение не проводится. Подробное описание алгоритма дано в [18].

Не вдаваясь в подробности: математику и программирование, суть работы алгоритма нейросети-стилизатора можно объяснить с помощью рис. 6 и 7:

- сначала нейросеть с каждым вычисляемым слоем упрощает оба изображения (и базовое, и стилизующее), убирая мелкие детали, выявляя существенные признаки, по сути, сводя их к крупноблоковому «векторным» изображениям (рис. 7а,б);



Рис. 6. Пример использования нейросети при создании стилизованного изображения: а – исходное изображение (база); б – художественный стиль (картина) или текстура мазков художника; в – результат стилизации нейросетью

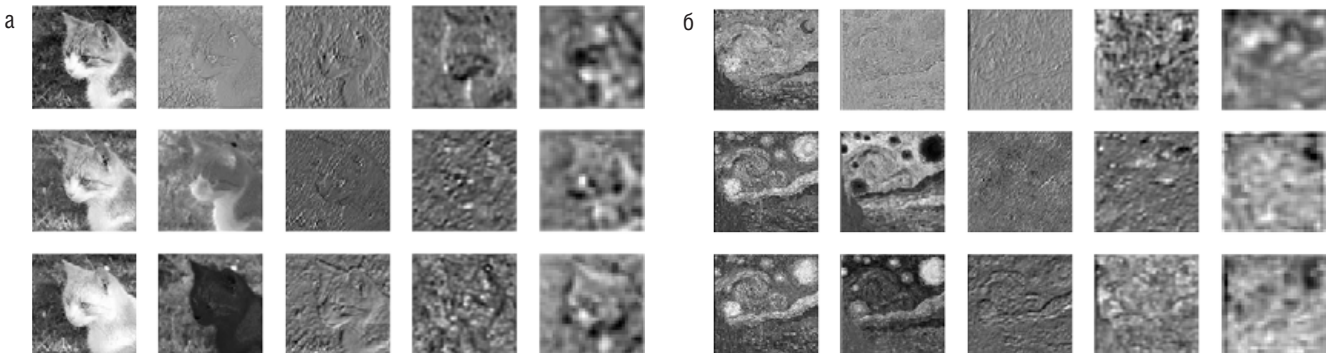


Рис. 7. Этапы представлений нейросетью-стилизатором базового (а) и стилизового (б) изображений

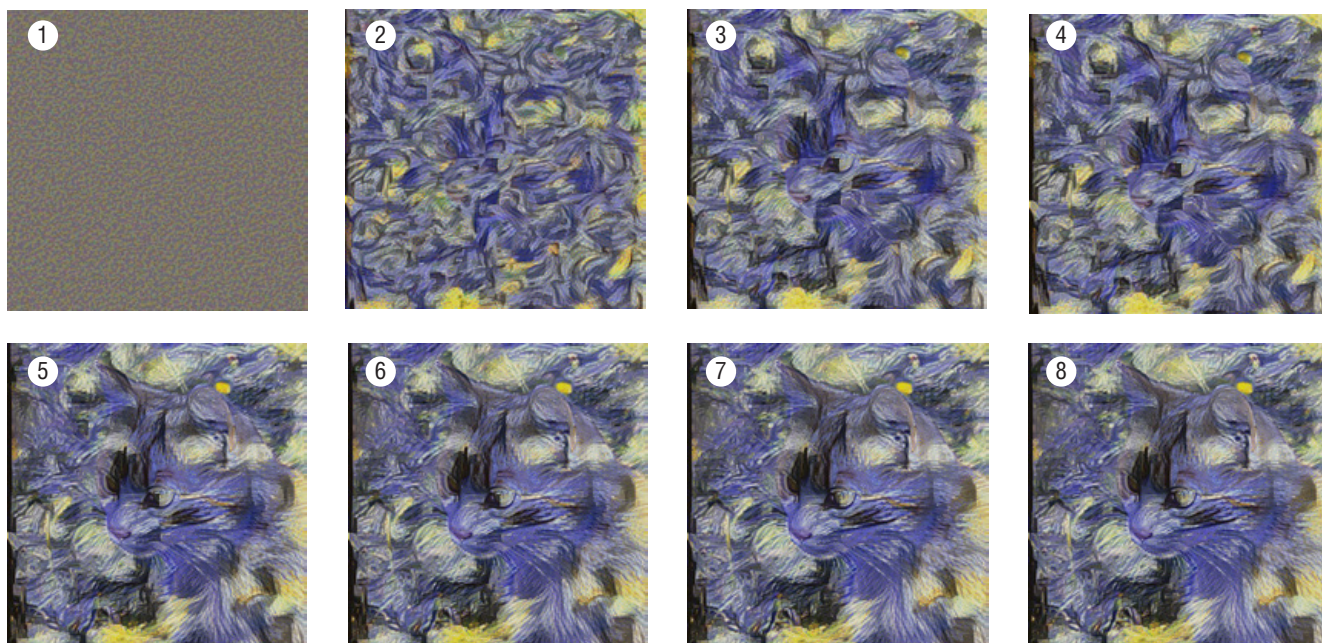


Рис. 8. Пошаговая визуализация совмещений базового и стилизующего изображений

• затем, в обратном порядке до некоторого слоя, результаты для базового и стилизующего изображений «матрично» суммируются (как бы полупрозрачные изображения слоёв накладываются друг на друга). В результате чего новое изображение имеет признаки и базового, и стилизового. От того, на каком промежуточном скрытом слое нейросети остановить наложение, получается различная степень детализации результирующего изображения.

«Суммирование» (наложение) слоёв базового и стилизующего изображений из различных слоёв нейросети продемонстрировано на рис. 8. В рассматриваемом примере в качестве базового изображения был файл фотографии кота, а в качестве стилизующего изображения – картина Ван Гога.

В качестве как базового, так и стилизующего изображений могут быть не только фотографии, но и чёрно-белые и цветные рисунки, компьютерная графика, в том числе и 3D, фракталы и смешанные изображения из всех видов цифровой визуализации. А это огромное количество стилизовых вариантов – «непаханная целина» для цифрового художника.

В качестве второго примера творческого поиска (а иногда и творческого «хулиганства») можно продемонстрировать эксперимент, когда за базовое изображение был взят компьютерный рисунок автора (рис. 9а), а стилизующим изображением – фрактал (рис. 9б). Нейросеть-стилизатор после вычислений выдала результат, показанный на рис. 9в.

Рассмотрим третью технологию создания изображения, основанную на модификации изображения с помощью программной обработки, имитирующей работу традиционного художника.

Технология программной обработки изображений

Для этой технологии, как и для нейросети-стилизатора, должно существовать некоторое базовое изображение. В

качестве базового (первоначального) изображения было взято изображение (рис. 10а), полученное в результате наложения слоёв с изображениями (рис. 9а и рис. 9б) и обесцвечиванием в верхнем слое некоторых частей изображения (рис. 9б).



Рис. 9. Эксперимент для нейросети-стилизатора: а – базовое изображение – компьютерная графика; б – стилизующее изображение – фрактал; в – новое изображение, полученное с помощью нейросети-стилизатора

Далее цифровым художником в программе выбирается уже разработанный программистом стиль живописи художника (поэтапность создания картины (первичный слой, грубая проработка крупной кистью изображения, проработка средними кистями и проработка мелкими кистями и сами кисти). И программа запускается на счёт.

На рис. 10 представлены результаты компьютерного «письма» картины на различных этапах работы программы: а – исходное изображение, б – результат программирования «прохода» крупными кистями (рис. 11а), в – результат программирования «прохода» средними кистями (рис. 11б), г – результат программирования «прохода» мелкими кистями (рис. 11в), д – «ручная» работа с цветом, материалами – выдавливание и

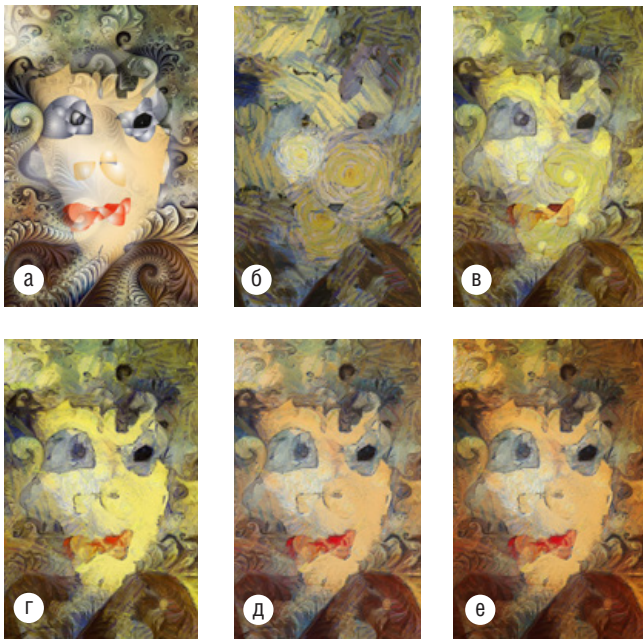


Рис. 10. Этапы программирования картины в стиле художника

процарапывание масляной краски, «проявление» холста (рис. 11д), е – работа с дополнительными эффектами (проявление теней, осветление и затемнение различных программных слоёв, и т.д.).

На рис. 11 показаны кисти (а – крупные, б – средние и в – мелкие), применённые в эксперименте (рис. 10). На рис. 11г – при увеличении продемонстрировано «проявление» живописного холста, на рис. 11д – выдавливание и процарапывание масляной краски, работа с цветом и проявление теней, осветление и затемнение различных программных слоёв.

На рис. 12 показаны результаты программирования в других стилях: 12а – портрет в старинном стиле, 12б – портрет в стиле Климта, 12в – портрет в стиле Кандинского.

Как видно, третья рассматриваемая цифровая технология может быть применена как к результатам работы нейросетей-стилизаторов, так и к изображениям, полученным любым другим способом, главное, чтобы эта картинка была представлена графическим файлом.

Технология фрактальной визуализации

В цифровых визуальных технологиях, помимо нейросетевых и программистских технологий, есть математические, а точнее, фрактальные технологии создания изображений, над которыми автор работает много лет [19-24]. Эксперименты проводятся как для статических, так и для динамических (для арт-видео и кино) изображений.

Результаты первых экспериментов сводились к созданию фракталов и мультифракталов, вычисление которых давало 2D изображение, хоть сколько-нибудь похожее на некоторый существующий в реальности образ. Так были получены первые живописные 2D фракталы, изображён-

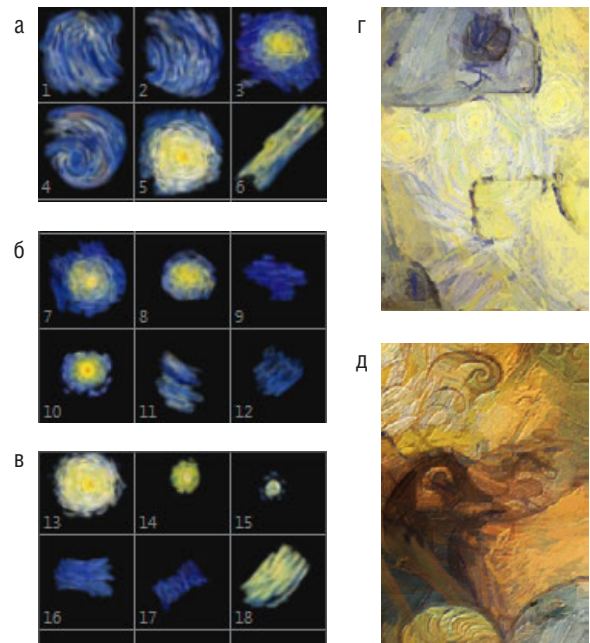


Рис. 11. Кисти стиля, холст и объёмный мазок кистей:

а – крупные кисти, б – средние кисти, в – мелкие кисти, г – «прорисовка» холста, д – создание 3D объёма у мазков картины

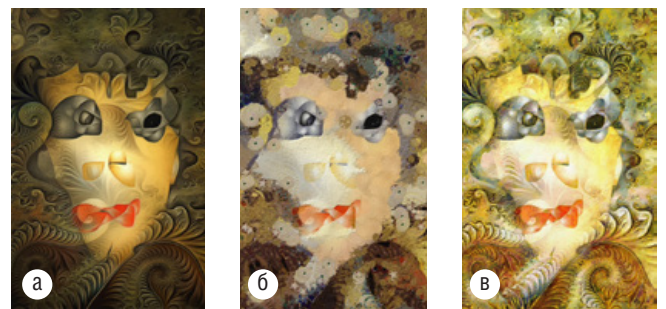


Рис. 12. Результаты программирования стилей: а – портрет в старинном стиле, б – портрет в стиле Климта, в – портрет в стиле Кандинского

ные на рис. 13: а – фрактал «Икона», б – фрактал «Автопортрет», в – фрактал «Пейзаж «Бирюзовое море»», г – фрактал «Пьеро», д – фрактал «Эльф», е – фрактал «Безголовое войско».

Другие фракталы можно увидеть на сайте автора [25].

После первых математических экспериментов с двумерными, плоскими фракталами встала задача поиска 3D фракталов, опять же похожих на некоторые реальные объекты для картин, базовых файлов для нейросетей и фрактальных арт-видео и фильмов. В основу синтеза таких объектов лёг компьютерный фрактальный синтез на основе фрактала Мандельброта [26] в программе Mandelbulb3D [27].

Так, автором для фрактального экспериментального видео 2015 года «Память о войне» был найден мультифрактал (состоящий из нескольких фракталов), условно названный «Убитый город» (рис. 14а), а для фрактального фильма 2016 года «Второй полёт над Серой планетой» – мультифрактал «Серая Планета» (рис. 14б).

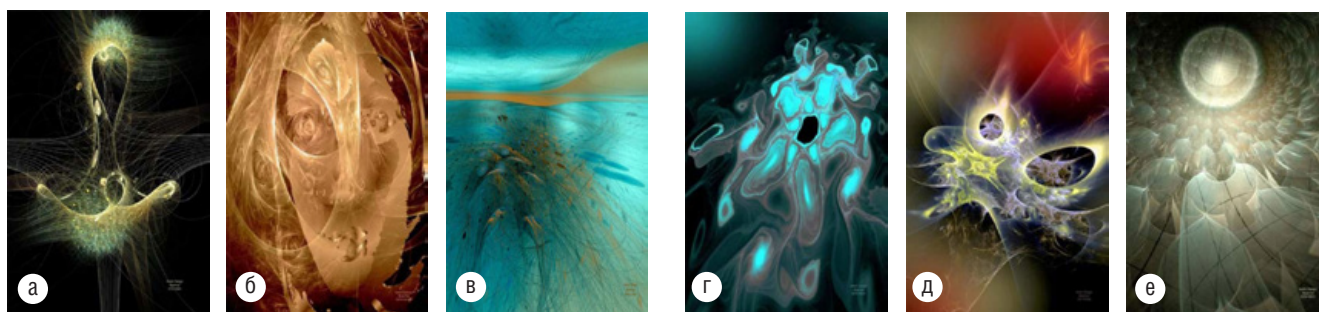


Рис. 13. Живописные 2D фракталы: а – фрактал «Икона», б – фрактал «Автопортрет», в – фрактал «Пейзаж «Бирюзовое море», г – фрактал «Пьеро», д – фрактал «Эльф», е – фрактал «Безголовое войско»

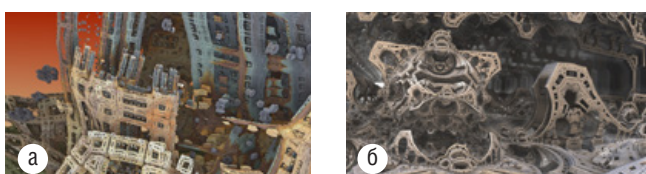


Рис. 14: а - исходный мультифрактал для фрактального фильма «Память о войне» (Н. Трубочкина, 2015); б - мультифрактал для фрактального фильма «Второй полёт над Серой планетой» (Н. Трубочкина, 2016)

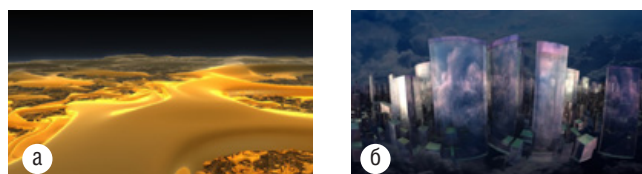


Рис. 15. Сгенерированные мультифракталы, относящиеся к классам: а – ландшафты и б – города

Была разработана методика синтеза 3D визуализаций фрактальных объектов с заданными свойствами для кинематографа. Методика основана на разработке классов мультифракталов с определёнными свойствами. Автором были созданы мультифракталы, относящиеся к классам: ландшафты, города, дома, интерьеры, технические объекты, растения, животные. На рис. 15 показаны примеры классов ландшафты (а) и города (б).

Технология синтеза мультифрактала с заданным художественным образом достаточно сложна, так как требует не только умения работы в среде разработки мультифракталов Mandelbulb3D [26], но и знаний по фрактальной математике и, в принципе, это тема для отдельной статьи.

Заключение

На основе обзора и анализа предметной области в качестве новых инструментов цифрового художника в статье предложены следующие цифровые технологии создания изображений:

1. Создание абстрактных изображений с помощью нейросети без входного изображения, на основе психо-эмоционального состояния художника.
2. Создание изображений с помощью нейросети – стилизатора, на входе которой есть базовое изображение и файл стилизации (картина художника, файл текстуры, другое изображение).
3. Технология программной стилизации и обработки изображений.
4. Технология фрактальной визуализации.

Описанные технологии и разработанные алгоритмы могут быть полезны цифровым художникам следующих творческих направлений: дизайн, графика, живопись, архитектура, кинематограф, VR, световые инсталляции. ■

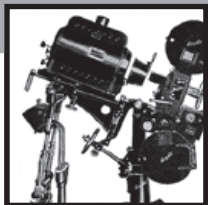
ЛИТЕРАТУРА

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE – Определение цифрового искусства.
2. https://www.takefoto.ru/articles/teoriya_fotografii – Всё о цифровой фотографии.
3. <http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/nikanorov> – Иван Никаноров. Цифровой кинематограф.
4. Селезнёв А.Е. Компьютерная графика в создании художественного образа в современных произведениях искусства. Вестник Вятского государственного университета. 2011. С. 204–207.
5. <http://www.cablook.com/design-art/iskusstvo-posle-interneta/> - Журнал «Искусство после Интернета».
6. Искусство и технологии: в Токио представлена самая крупная цифровая выставка. <https://robo-hunter.com/news/iskusstvo-i-tehnologii-v-tokio-predstavlena-samaya-krupnaya-cifrovaya-vystavka12118/@robo-hunter.com>
7. Открываем 3D кинотеатр <https://sound-design.kiev.ua/a243668-otkrываем-kinoteatr-shag.html>
8. Иванов Б.Т. «Новый вид кино», Журнал «Природа» №5, 1941.
9. Рожков С.Н. «Лавры Кино» Декабрь 2014 – Январь 2015, с. 75.
10. Комар В.Г., Сон Д.Ю., Семин М.С., Майоров В.П., Сабо С.А., Беляев С.В., Балясный Л.М., Крутик М.И., Любич О.А., Котляр В.Л., Лапотенко В.Е.. Трёхмерная многокурсовая безочковая цветная телевизионная система с голографическим экраном. «ВИДЕОСКАН». <http://videoscan.ru/page/689>.
11. Голограммы. Новый инструмент искусства. <http://axiart.ru/hologram-magic-of-light/>
12. Christina Kretsu. Когда голограммы войдут в повседневную жизнь, 2017, <https://vc.ru/future/26828-kogda-gologrammy-voyдут-v-povsednevnyu-zhizn>
13. <https://eightbyten.pro/golograficheskoe-kino/> Голографическое кино. Технологии будущего из прошлого.
14. Михеев Олег. Виртуальная реальность как новый вид искусства, 2018. <https://hype.ru/@id103/virtualnaya-realnost-kak-novyy-vid-iskusstva-lnnybeq4>

15. Нейросеть научили создавать оригинальные произведения искусства, 2017. <https://nplus1.ru/news/2017/07/05/creative-adversarial-network>
16. *Ahmed Elgammal, Bingchen Liu, Mohamed Elhoseiny, Marian Mazzone.* CAN: Creative Adversarial Networks, Generating «Art» by Learning About Styles and Deviating from Style Norms. Cornell University, 2017. <https://arxiv.org/abs/1706.07068>
17. Deep Neural Network を使って画像を好きな画風に変換できるプログラムを Chainer で実装し、公開しました。 <https://research.preferred.jp/2015/09/chainer-gogh/> <https://github.com/matty/chainer-gogh> - (код нейросети)
18. *Leon A. Gatys, Alexander S. Ecker, Matthias Bethge.* A Neural Algorithm of Artistic Style. arXiv:1508.06576v2 [cs.CV] 2 Sep 2015 <https://arxiv.org/pdf/1508.06576.pdf>
19. *Трубочкина Н.К.* От фрактальных динамических арт-объектов к фрактальным фильмам / В кн.: Инновационные технологии в кинематографе и образовании. М.: ВГИК, 2016. С. 165–176.
20. *Трубочкина Н.К.* Технология создания полнометражных 2D и 3D фильмов с использованием фрактальных слоёв / Мир техники кино. 2016–4(10). С. 21–29.
21. *Трубочкина Н.К., Кондратьев Н.В.* Перспективы развития трёхмерного кино без очков с использованием фрактальной графики / В кн.: Инновационные технологии в кинематографе и образовании: II Международная научно-практическая конференция, Москва, 21–25 сентября 2015 г.: Материалы и доклады. – М.: ВГИК, 2015. М.: ВГИК, 2015. С. 60–69.
22. *Трубочкина Н.К., Кондратьев Н.В.* Создание фрактальных статических и динамических изображений для автостереоскопических систем. / Мир техники кино. 2015–3(9). С. 6–16.
23. *Трубочкина Н.К., Лиховцева А.В.* Технология фрактальной 3D визуализации. / В кн.: Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VII Международная научно-практическая конференция, Москва, 23–25 апреля 2015 г.: Материалы и доклады. М.: ВГИК, 2015. Гл. 11. С. 99–113.
24. *Трубочкина Н.К., Лиховцева А.В.* Фрактальные графические образы – новые возможности для кино и телевидения / Мир техники кино. 2015–4(9). С. 10–17.
25. http://nadin.miem.edu.ru/article_001_04.html статьи о фракталах автора.
26. *Бенуа Б.* Мандельброт «Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса» ISBN: 978-5-93972-772-3. 2009. Издательство: Регулярная и хаотическая динамика.
27. <http://www.fractalforums.com/index.php?action=downloads-programma-Mandelbulb3D>.
7. Otkryvaem 3D kinoteatr <https://sound-design.kiev.ua/a243668-otkryvaem-kinoteatr-shag.html>
8. *Ivanov B.T.* «Novyj vid kino», ZHurnal «Priroda» №5, 1941.
9. *Rozhkov S.N.* «Lavry Kino» Dekabr' 2014 – Yanvar' 2015, s. 75.
10. *V.G. Komar, D.YU. Son, M.S. Semin, V.P. Majorov, S.A. Sabo, S.V. Belyaev, L.M. Balyasnyj, M.I. Krutik, O.A. Lyubich, V.L. Kottlyar, V.E. Lapotenko.* Trekhmernaya mnogorakursnaya bezochkovaya cvetnaya televizionnaya sistema s golograficheskim ehkranom. "VIDEOSKAN". <http://videoskan.ru/page/689>
11. Gologrammy. Novyj instrument iskusstva. <http://axiart.ru/hologram-magic-of-light/>
12. *Christina Kretsu.* Kogda gologrammy vojdu v povsednevnyy zhizn', 2017, <https://vc.ru/future/26828-kogda-gologrammy-vojdu-v-povsednevnyy-zhizn>
13. <https://eightbyten.pro/golograficheskoe-kino/> Golograficheskoe kino. Tekhnologii budushchego iz proshlogo.
14. *Oleg Miheev.* Virtual'naya real'nost' kak novyj vid iskusstva. 2018. <https://hype.ru/@id103/virtualnaya-realnost-kak-novyy-vid-iskusstva-lnnybeq4>
15. Nejroset' nauchilisozdavat' original'nyeproizvedeniyaiskusstva, 2017. <https://nplus1.ru/news/2017/07/05/creative-adversarial-network>
16. *Ahmed Elgammal, Bingchen Liu, Mohamed Elhoseiny, Marian Mazzone.* CAN: Creative Adversarial Networks, Generating «Art» by Learning About Styles and Deviating from Style Norms. Cornell University, 2017. <https://arxiv.org/abs/1706.07068>
17. Deep Neural Network を使って画像を好きな画風に変換できるプログラムを Chainer で実装し、公開しました。 <https://research.preferred.jp/2015/09/chainer-gogh/> <https://github.com/matty/chainer-gogh> - (kodnejroseti)
18. *Leon A. Gatys, Alexander S. Ecker, Matthias Bethge.* A Neural Algorithm of Artistic Style. arXiv:1508.06576v2 [cs.CV] 2 Sep 2015 <https://arxiv.org/pdf/1508.06576.pdf>
19. *Trubochkina N.K.* Ot fraktal'nyh dinamicheskikh art-ob'ektov k fraktal'nym fil'mam / V kn.: Innovacionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii. M.: VGIK, 2016. S. 165–176.
20. *Trubochkina N.K.* Tekhnologiya sozdaniya polnometraznyh 2D i 3D fil'mov s ispol'zovaniem fraktal'nyh slojov / Mir tekhniki kino. 2016–4(10). S. 21–29.
21. *Trubochkina N.K., Kondrat'ev N. V.* Perspektivy razvitiya tryohmernogo kino bez ochkov s ispol'zovaniem fraktal'noj grafiki / V kn.: Innovacionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Moskva, 21–25 sentyabrya 2015 g.: Materialy i doklady. – M.: VGIK, 2015. M.: VGIK, 2015. S. 60–69.
22. *Trubochkina N.K., Kondrat'ev N.V.* Sozdanie fraktal'nyh staticeskikh i dinamicheskikh izobrazhenij dlya avtostereoskopicheskikh sistem. / Mir tekhniki kino. 2015–3(9). S. 6–16.
23. *Trubochkina N.K., Lihovceva A.V.* Tekhnologiya fraktal'noj 3D vizualizacii. / V kn.: Zapis' i vosproizvedenie ob'jomnyh izobrazhenij v kinematografe i drugih oblastyah: VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Moskva, 23–25 aprelya 2015. Materialy i doklady. M.: VGIK, 2015. Gl. 11. S. 99–113.
24. *Trubochkina N.K., Lihovceva A.V.* Fraktal'nye graficheskie obrazy – novye vozmozhnosti dlya kino i televideniya / Mir tekhniki kino. 2015–4(9). S. 10–17.
25. http://nadin.miem.edu.ru/article_001_04.html stat'i o fraktalah avtora.
26. *Benua B.* Mandel'brot «Fraktaly i haos. Mnozhestvo Mandel'brot i drugie chudesa» ISBN: 978-5-93972-772-3. 2009. Izdatel'stvo: Reguljarnaya i haoticheskaya dinamika.
27. <http://www.fractalforums.com/index.php?action=downloads-programma-Mandelbulb3D>.

REFERENCES

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE – Opredelenie cifrovogo iskusstva.
2. https://www.takefoto.ru/articles/teoriya_fotografii-Vse_o_cifrovoj_fotografii.
3. <http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/nikanorov-IvanNikanorov>. Cifrovoj kinematograf.
4. *Seleznov A.E.* Komp'yuternaya grafika v sozdanii hudozhestvennogo obraza v sovremennyh proizvedeniyah iskusstva. Vestnik Vyatskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. S. 204–207.
5. <http://www.cablook.com/design-art/iskusstvo-posle-interneta/> – ZHurnal «Iskusstvo posle Interneta».
6. Iskusstvo i tekhnologii: v Tokio predstavlena samaya krupnaya cifrovaya



ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСИ ВНЕОСЕВЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ

при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя



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

Аннотация

В статье проанализированы размытие изображения и изменение масштаба изображения, возникающие в результате продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом при фото- и киносъёмке, относительно светочувствительного слоя матрицы или плёнки.

Для внеосевых точек кадра уточнены математические модели функции рассеяния и пространственной частотной характеристики продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя.

Ключевые слова: цифровая фотокамера, цифровой киноаппарат, функция рассеяния, пространственная частотная характеристика, плёнка, светочувствительная матрица.

Введение

В предыдущем номере журнала «Мир техники кино» [6] на основе теории преобразования изображений в кинематографе [1,2,8] рассмотрено продольное смещение оптического изображения, формируемого объективом при фото- или киносъёмке, относительно светочувствительного слоя матрицы или плёнки как самостоятельное

FEATURES OF RECORDING OF THE OFF-AXIS POINTS OF THE OPTICAL IMAGE FIRMED BY THE LENS AT LONGITUDINAL DISPLACEMENT RELATIVE TO THE LIGHT-SENSITIVE LAYER

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

Abstract

The article analyzes the image blur and rescaling resulting from the longitudinal displacement of the optical image formed by the lens during photo and film shooting, relative to the light-sensitive layer of a matrix or a film.

Mathematical models of the scattering function and the spatial frequency characteristic of the longitudinal displacement of the optical image relative to the light-sensitive layer are refined for off-axis points of the frame.

Keywords: digital photo camera, digital movie camera, scattering function, spatial frequency characteristic, film, image sensor.

звено процесса записи изображений, аналогичное другим звеньям съёмочного процесса, влияющим на качество записываемого изображения, таким как объектив, плёнка, матрица, поперечный сдвиг оптического изображения относительно светочувствительного слоя при экспонировании кадра и т.д. Для точки изображения, расположенной в центре кадра, уточнена методика расчёта

функции рассеяния точки и пространственной частотной характеристики, характеризующих продольное смещение оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя.

Алгоритмы оценки качества изображения, приведённые в статье [6], с точностью, достаточной для решения большинства практических задач, могут быть применены для оценки качества изображения в центре кадра. Однако вариант анализа изображения только в центре кадра является важным, но частным. Если рассматривать изображения объектов, находящихся вне центральной зоны кадра, то преобразования изображений, возникающие в результате продольного сдвига оптического изображения относительно светочувствительного слоя, будут иметь некоторые особенности. Рассмотрим эти особенности.

Кружок рассеяния

Поскольку продольное смещение оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя рассматривается как отдельный элемент процесса записи изображений, то входным сигналом изображения можно считать нормированное оптическое изображение $E'_1(x, y)$, представляющее собой точечный, бесконечно малый в пространстве, сигнал изображения, т.е. определяемый двумерной дельта-функцией Дирака $\delta(x, y)$:

$$E'_1(x, y) = \delta(x, y), \quad (1)$$

где x и y – соответственно, горизонтальная и вертикальная координаты в плоскости рассматриваемого оптического изображения, формируемого объективом, с центром координат в точке пересечения плоскости оптического изображения оптической осью объектива.

Применим обозначения: D' – диаметр выходного зрачка объектива; p' – расстояние от выходного зрачка объектива до оптического изображения объекта съёмки; $z_{см}$ – расстояние от оптического изображения объекта съёмки до светочувствительного слоя. Тогда, как следует из рис. 1, диаметр кружка рассеяния d_c на поверхности светочувствительного слоя равен

$$d_c = \frac{D'z_{см}}{p'} \quad (2)$$

и не зависит от расстояния оптического изображения, формируемого на светочувствительном слое, до оптической оси объектива.

При выводе уравнения (2) не учитывалось виньетирование световых потоков. Если же виньетирование присутствует в процессе формирования изображений вне центра кадра, то световой поток, собирающийся в каждой внеосевой точке в оптическом изображении, будет выходить не из всей площади выходного зрачка, а только из её части, и, следовательно, форма кружка рассеяния будет в виде части круга. Виньетирование следует обя-

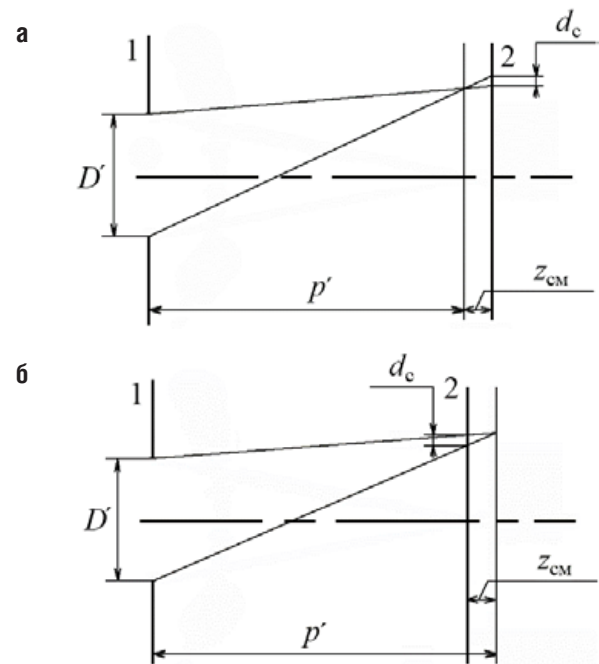


Рис. 1. Схема формирования кружка рассеяния, возникающего в результате смещения оптического изображения, для внеосевых изображений: а) оптическое изображение формируется объективом 1 до светочувствительного слоя 2; б) оптическое изображение формируется объективом 1 за светочувствительным слоем 2

зательно учитывать при анализе изменений освещённости по полю кадра, но при анализе преобразований изображения, выполненном в данной статье, искажениями, вызванными геометрическим виньетированием световых потоков, на данном этапе можно пренебречь.

Дополнительно отметим, что уменьшение освещённости изображения, которое проявляется при удалении от центра кадра, происходит не только в результате геометрического виньетирования световых потоков, но и в результате так называемого закона « $(\cos w)^4$ » [4], где w – угол между главным лучом светового пучка, сходящегося во внеосевой точке оптического изображения, и оптической осью объектива.

Итак, примем, что диаметр кружка рассеяния, возникающего в результате продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя, приблизительно одинаков по всему полю кадра, т.е. инвариантен к сдвигу.

Масштаб изображения

Из рис. 1 видно, что в результате продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя, изменяется масштаб изображения, причём если оптическое изображение, построенное объективом, находится до светочувствительного слоя, то размеры записываемого изображения увеличиваются, а если оптическое изображение – за светочувствительным слоем, то размеры изображения уменьшаются.

В дополнение к системе координат (x, y) в плоскости оптического изображения, построенного объективом, введём в рассмотрение вторую систему пространственных координат, поместив её в плоскости светочувствительного слоя: центр координат расположим в точке пересечения светочувствительного слоя с оптической осью объектива, ось x_c направим горизонтально в плоскости светочувствительного слоя, а ось y_c – вертикально. Поскольку в оптике, согласно правилу знаков, «линейные отрезки считаются положительными, если их направление и принятое направление распространения света совпадают, и отрицательными, если эти отрезки направлены навстречу распространению света» [5], то направим координатные оси z и z_c вдоль оптической оси от объектива. Тогда расстояние z_{cm} от оптического изображения объекта съёмки до светочувствительного слоя будет положительным, если оптическое изображение объектив сфокусирует до светочувствительного слоя, и отрицательным, если оптическое изображение за светочувствительным слоем.

Используя законы геометрической оптики, нетрудно определить, что координаты x и y точки в плоскости оптического изображения корреспондируются с координатами x_c и y_c на поверхности светочувствительного слоя следующим образом:

$$x_c = k_m x \quad (3)$$

и

$$y_c = k_m y \quad (4)$$

где

$$k_m = 1 + \frac{z_{cm}}{a'} \quad (5)$$

k_m – коэффициент преобразования масштаба; a' – расстояние от задней главной точки H' объектива до оптического изображения объекта съёмки.

Из уравнений (3) и (4) следует, что масштаб $\frac{a'}{a}$ изображения, сформированного объективом, преобразуется в масштаб $\frac{a'}{a} \left(1 + \frac{z_{cm}}{a'}\right)$ изображения на светочувствительном слое, где a – расстояние от передней главной точки H объектива до объекта съёмки.

Таким образом, при записи изображений масштаб не изменяется только в изображении тех объектов, на которые произведена фокусировка объектива, т.е. оптические изображения которых совмещены со светочувствительным слоем. Масштаб изображений остальных объектов уменьшается или увеличивается. Величина изменения масштаба зависит от расстояния смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя, расстояния съёмки и фокусного расстояния объектива.

Функция рассеяния

Функция рассеяния точки описывает распределение освещённости на светочувствительном слое, когда опти-

ческое изображение, сформированное объективом, имеет вид светящейся точки, описываемый уравнением (1).

Если допустить, что освещённость в пределах кружка рассеяния постоянна, то функция рассеяния точки $E'_{т. на св. слое}(x_c, y_c)$ на светочувствительном слое, возникающая в результате продольного смещения оптического изображения, построенного объективом, относительно светочувствительного слоя, описывается уравнением [6]:

$$E'_{т. на св. слое}(x_c, y_c) = \begin{cases} \frac{4}{\pi d_c^2} & \text{при } \sqrt{x_c^2 + y_c^2} \leq \frac{d_c}{2} \\ 0 & \text{при } \sqrt{x_c^2 + y_c^2} > \frac{d_c}{2} \end{cases} \quad (6)$$

При принятых допущениях об отсутствии геометрического виньетирования световых потоков и равномерности распределения освещённости в пределах кружка рассеяния, функция рассеяния точки постоянна по всему полю кадра, т. е. инвариантна к сдвигу.

Оптическое изображение реальных объектов съёмки

Изображения реальных объектов съёмки характеризуются линейными размерами и местом положения в пространстве изображений.

Оптические изображения объектов могут быть представлены как совокупность точечных изображений, каждое из которых создаёт на светочувствительном слое свой кружок рассеяния. Все кружки рассеяния, накладываясь друг на друга, формируют трансформированное оптическое изображение на поверхности светочувствительного слоя. Поэтому для определения освещённости $E'_{оп. на св. слое}(x_c, y_c)$ в любой точке (x_c, y_c) на светочувствительном слое необходимо сложить освещённости в этой точке во всех кружках рассеяния, накладывающихся друг на друга в этой точке светочувствительного слоя.

На рис. 2 из совокупности всех кружков рассеяния, которые определяют итоговую освещённость в точке с координатами $(x_c, 0)$ кадра, приведены только два кружка рассеяния, максимально удалённые от рассматриваемой точки кадра.

Входным сигналом является функция распределения освещённости $E'_{оп}(x, y)$ в плоскости оптического изображения, формируемого объективом. Пусть диаметр выходного зрачка $D' \rightarrow 0$. Тогда значения функции уменьшатся, и на светочувствительном слое будет построено оптическое изображение, отличающееся от $E'_{оп}(x, y)$ масштабом изображения. Назовём такое оптическое изображение на светочувствительном слое корреспондирующим:

$$E'_{оп. кор.}(x_c, y_c) = E'_{оп.} \left(\frac{x}{k_m}, \frac{y}{k_m} \right) \quad (7)$$

Теперь вернёмся к реальному значению диаметра выходного зрачка D' . Тогда в корреспондирующем изобра-

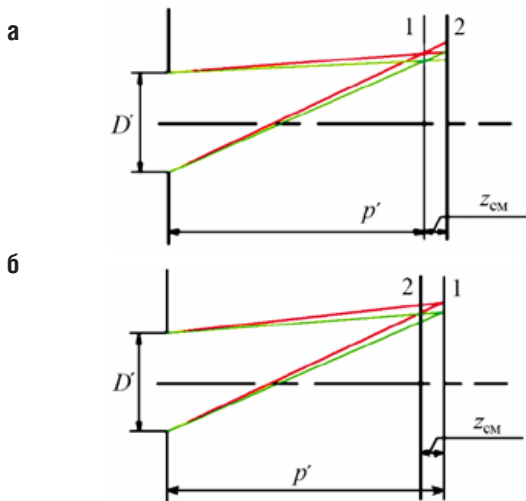


Рис. 2. Схема наложения кружков рассеяния на поверхности светочувствительного слоя в вертикальной плоскости: а) оптическое изображение 1 формируется объективом до светочувствительного слоя 2; б) оптическое изображение 1 формируется объективом за светочувствительным слоем 2

жении произойдёт не только изменение масштаба оптического изображения на светочувствительном слое, но и его размытие.

Освещённость $E'_{оп. на св. слое}(x_c, y_c)$ на светочувствительном слое определится двумерной свёрткой освещённости соответствующего изображения $E'_{оп. кор.}(x_c, y_c)$ с функцией рассеяния $E'_{т. на св. слое}(x_c, y_c)$ продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя:

$$E'_{оп. на св. слое}(x_c, y_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E'_{оп. кор.}(x_1, y_1) E'_{т. на св. слое}(x_c - x_1, y_c - y_1) dx_1 dy_1. \quad (8)$$

Гармоническое изменение освещённости в оптическом изображении вдоль одной пространственной координаты

Рассмотрим частный, но очень наглядный случай, при котором освещённость $E'_{оп}(x, y)$ в оптическом изображении, формируемом объективом, не зависит от времени и пространственной координаты y , а изменяется только вдоль пространственной координаты x по гармоническому закону:

$$E'_{оп}(x) = 0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5, \quad (9)$$

где f_x – пространственная частота изменения освещённости вдоль оси x ;

φ – фаза гармонического изменения освещённости относительно начала координат.

Как и в предыдущих публикациях (например, [6,7]), освещённость в оптическом изображении, описываемая уравнением (9), нормирована таким образом, чтобы все возможные значения освещённости находились в диапазоне $0 \leq E'_{оп}(x) \leq 1$.

Тогда соответствующее оптическое изображение на светочувствительном слое имеет вид:

$$E'_{оп. кор.}(x_c) = 0,5 \cos \left(\frac{2\pi f_x x_c}{1 + \frac{z_{CM}}{a'}} + \varphi \right) + 0,5. \quad (10)$$

В случае рассматриваемого изменения освещённости вдоль одной пространственной координаты x двойной интеграл (8) преобразуется в интеграл одной переменной, в который подставим $E'_{оп. кор.}(x_c)$ из уравнения (10), а затем выполним несложные преобразования. В результате получим преобразованную нормированную освещённость на поверхности светочувствительного слоя:

$$E'_{оп. на св. слое}(x_c) = \frac{4}{\pi d_c^2} \int_{x_c - \frac{d_c}{2}}^{x_c + \frac{d_c}{2}} \sqrt{d_c^2 - 4(x_c - x_1)^2} \left[0,5 \cos \left(\frac{2\pi f_x x_1}{1 + \frac{z_{CM}}{a'}} + \varphi \right) + 0,5 \right] dx_1. \quad (11)$$

На рис. 3 приведён пример преобразования оптического изображения 1, описываемого уравнением (9), при $f_x = 50 \text{ мм}^{-1}$ и фазе $\varphi=0$, в оптическое изображение 2 на светочувствительном слое, описываемое уравнением (11), при $a'=36 \text{ мм}$, $z_{CM}=2 \text{ мм}$, $d_c=0,01 \text{ мм}$. Из рис. 3 видно, что в результате продольного смещения изображения относительно светочувствительного слоя снижается контраст изображения на светочувствительном слое и изменяется масштаб изображения. Последнее приводит к тому, что пространственная частота f_x в оптическом изображении, сформированном объективом, заменяется на пространственную частоту $\frac{f_x}{1 + \frac{z_{CM}}{a'}}$ в оптическом изображении на светочувствительном слое.

Пространственная частотная характеристика продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя

Согласно теории преобразований изображений [1–3], пространственная частотная характеристика $K_{пр. см.}(f_x, f_y)$ продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя определяется двумерным преобразованием Фурье функции $E'_{т. на св. слое}(x_c, y_c)$, т.е.

$$K_{пр. см.}(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E'_{т. на св. слое}(x_c, y_c) \exp(-j2\pi(f_x x_c + f_y y_c)) dx_c dy_c, \quad (12)$$

где f_y – пространственная частота изменения освещённости вдоль оси y ; $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

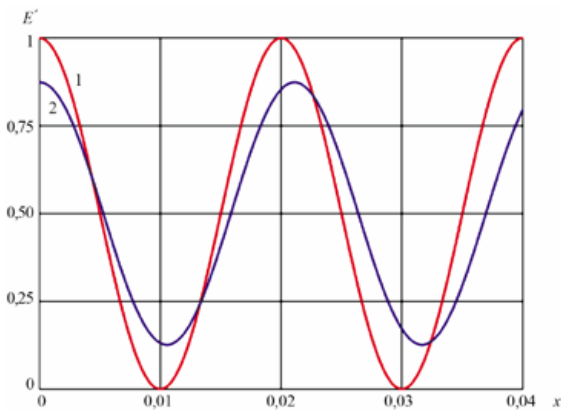


Рис. 3. Пример преобразования исходного оптического изображения (1), формируемого объективом, в оптическое изображение (2) на поверхности светочувствительного слоя

Для освещённости, изменяющейся только вдоль одной координатной оси, двойной интеграл (12) преобразуется в интеграл одной переменной:

$$K_{\text{пр. см.}}(f_x) = \frac{4}{\pi d_c^2} \int_{-\frac{d_c}{2}}^{\frac{d_c}{2}} \sqrt{d_c^2 - 4x_c^2} \cos \left(\frac{2\pi f_x x_c}{1 + \frac{z_{\text{см}}}{a'}} \right) dx_c \quad (13)$$

Интеграл (13) учитывает изменение масштаба изображения, возникающее в результате продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя. Если изменением масштаба можно пренебречь, т.е. в случае $z_{\text{см}} \ll a'$, то интеграл (13) преобразуется в интеграл, подробно проанализированный в статье [6].

Заключение

Выполненный анализ продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом при фото- или киносъёмке, относительно светочувствительного слоя средств записи изображения (матрица или плёнка) показал наличие двух механизмов преобразования изображения в данном звене процесса записи изображений:

1. Размытие изображения, зависящее от трёх основных параметров: величина продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя, диаметр выходного зрачка и расстояние от выходного зрачка до оптического изображения, формируемого объективом.

2. Изменение масштаба изображения, определяемое величиной продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя и расстоянием от задней главной точки объектива до оптического изображения.

Оба механизма преобразования изображения являются независимыми друг от друга, любой из них может быть основным в разных конкретных практических задачах.

Поскольку кружок рассеяния приблизительно одинаков для всех точек кадра (если допустимо пренебречь геометрическим виньетированием) и поскольку изменение масштаба изображения постоянно (если рассматриваются изображения, сформированные объективом в пределах одной плоскости в пространстве изображений), то допустимо считать, что характеристики качества изображения (кружок рассеяния, функции рассеяния и пространственная частотная характеристика) инвариантны к сдвигу по полю кадра. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе): учебное пособие для вузов кинематографии. М.: Искусство, 1982. 239 с.
2. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): учебное пособие. СПб.: СПбГУКИТ, 2002. 712 с.
3. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970. 364 с.
4. Кулагин С.В. Распределение освещённости / Фотокинетика / гл. ред. Е.А. Иофис. М.: Советская Энциклопедия, 1981. С. 269.
5. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. М.: Машиностроение, 1974. 238 с.
6. Раев О.Н. Оценка качества изображения при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя / Мир техники кино. 2018–4(12). С. 10–17.
7. Раев О.Н. Преобразование оптического изображения с периодическим изменением освещённости в кадре матрицей фото- и киноаппарата / Мир техники кино. 2018–3(12). С. 11–17.
8. Раев О.Н. Способы оценки пространственного сдвига киноплёнки в киносъёмочной аппаратуре. Обзорная информация / НИКФИ. Кинофототехника. М., 1987. Вып. 1(92). М.: НИКФИ, 1987. 47 с.

REFERENCES

1. Grebennikov O.F. Osnovy zapisi i vosproizvedeniya izobrazhenii (v kinematografe): uchebnoe posobie dlya vuzov kinematografii. M.: Iskusstvo, 1982. 239 p.
2. Grebennikov O.F., Tikhomirova G.V. Osnovy zapisi i vosproizvedeniya informatsii (v audiovizual'noi tekhnike): uchebnoe posobie. SPb.: SPbGUKiT, 2002. 712 p.
3. Gudmen Dzh. Vvedenie v Fur'e-optiku. M.: Mir, 1970. 364 p.
4. Kulagin S.V. Raspredelenie osveshchennosti / Fotokinotekhnika / gl. red. E.A. Iofis. M.: Sovetskaya Entsiklopediya, 1981. P. 269.
5. Opticheskie pribory v mashinostroenii. Spravochnik. M.: Mashinostroenie, 1974. 238 p.
6. Raev O.N. Otsenka kachestva izobrazheniya pri prodol'nom smeshchenii opticheskogo izobrazheniya, formiruемого ob'ektivom, otnositel'no svetochuvstvitel'nogo sloya / Mir tekhniki kino. 2018–4(12). P. 10–17.
7. Raev O.N. Preobrazovanie opticheskogo izobrazheniya s periodicheskim izmeneniem osveshchennosti v kadre matritsei foto- i kinoapparata / Mir tekhniki kino. 2018–3(12). P. 11–17.
8. Raev O.N. Spособы otsenki prostranstvennogo sdviga kinoplenki v kinos'emochnoi apparature. Obzornaya informatsiya / NIKFI. Kinofototekhnika. M., 1987. Vol. 1(92). M.: NIKFI, 1987. 47 p.



АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ пространственного поля (АСПП)

(доклад на V Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в кинематографе и образовании» 12–13 ноября 2018 г., Москва)



■ В.Н. Костин, valankon@mail.ru, директор компании «Валанкон-Д», А.Н. Сологубов, доцент кафедры звукорежиссуры ВГИК, Москва, РФ ■

Аннотация

Рассматриваются различные варианты конструкций акустических систем пространственного поля и их применение в системах «домашнего кинотеатра» взамен традиционных акустических систем и в качестве дополнения к комплексам «DOLBY» для бюджетных вариантов. Проведённые эксперименты по прослушиванию АСПП подготовленной зрительской аудиторией подтвердили почти двукратное увеличение зоны комфортного прослушивания по сравнению с традиционными акустическими системами.

Ключевые слова: Акустические системы пространственного поля, «Валанкон», цилиндрическая волна, круговая диаграмма направленности, точечный излучатель, АСПП.

■ Введение

Основная задача электроакустики в самом упрощённом варианте – это соответствие вторичного звукового поля (в месте прослушивания) первичному (в месте, где происходит само действие). Если вдруг мы остановимся (на улице или в любом другом месте) и прислушаемся, то окажемся в окружающем нас звуковом поле. Различные звуки будут слышны со всех сторон, и мы совершенно свободно сможем локализовать источники этих звуков. Какое основное свойство этих источников?

SPATIAL FIELD ACOUSTIC SYSTEMS

V. Kostin, valankon@mail.ru, “Valancon”, A. Sologubov, VGIK, Russia

Abstract

Various designs of spatial field acoustic systems and their application in “home theater” systems instead of traditional acoustic systems and as a Supplement to “DOLBY” complexes for budget variants are considered. The experiments conducted to listen to the ASPP prepared by the audience confirmed an almost twofold increase in the area of comfortable listening compared to traditional speakers.

Keywords: Acoustic system of spatial fields, “Valancon”, cylindrical wave, the circular radiation pattern of point emitter, ASPP.

Точечность

Все источники звуков в окружающем нас мире – точечные. Из одной точки исходит весь спектр частот и в большинстве своём излучает давление (скалярные излучатели). Микрофон тоже точечный приёмник звука и воспринимает давление. Если обратиться к психоакустике, то наше восприятие оптимизировано под такие источники звуков. Только современные акустические системы не являются точечным источником звука, излучающим давление (направленный, векторный излучатель).

Применяемые в акустических системах (АС) источники звука громкоговорители (Гр) не позволяют воспроизвести весь слышимый диапазон частот. Для решения этой задачи выпускаются специализированные Гр, оптимизированные для своего диапазона частот. Таким образом, мы получаем АС, состоящую из нескольких Гр, разнесённых в пространстве. На каждый из этих Гр подаётся только часть исходного звукового сигнала в том диапазоне частот, на который рассчитан данный Гр, и каждый из этих Гр будет иметь свою диаграмму направленности. Возникает несколько вопросов:

Где точечный источник звука?

Так как каждый Гр имеет разную диаграмму направленности, то в зависимости от точки прослушивания мы будем иметь разную тембральную окраску.

Вывод – вторичное звуковое поле принципиально не может соответствовать первичному. Возникает неизбежный вопрос – что делать?

Немного истории:

- 1898 год – Оливером Лоджем изобретён громкоговоритель, конструкция которого сохранилась до сих пор.
- 1948 год – на Лондонском «Радио-шоу» был представлен первый громкоговоритель «DualConcentric» фирмы «Таппоу». Первый направленный двухполосный точечный излучатель (Английский звук).

Это, действительно, был прорыв, который сохраняет свои преимущества до настоящего времени. Великолепный звук, с очень небольшой областью комфортного прослушивания. Наличие рупорного высокочастотного излучателя в коаксиальном Гр «Таппоу» только обостряет ситуацию с тембральной окраской в зависимости от положения слушателя.

Возникает вопрос: как преобразовать векторное излучение в скалярное? Очень просто, как хлопают в ладоши. Каждая ладонь – вектор, а две ладони, направленные друг на друга, образуют скаляр (давление), или можно хлопнуть ладонью по препятствию. Скорость никакая, а звука много. Да, через 10 ÷ 15 длин волн векторное излучение само перейдёт в скалярное, но лучше не ждать.

Первый раз о подобных АС в отечественной литературе было упомянуто в публикации журнала «Радио» (№4, 1973). Следующий шаг к созданию подобных АС сделал конструктор Шоров В.И. Разработанная им система 30АС103П потом выпускалась заводом «ЯНТАРЬ» и была описана в журнале «Радио» (№4, 1997). Это была двухполосная АС, где два Гр установлены горизонтально и направлены каждый на свой рассеивающий конус, переводящий вектор в скаляр. Так как высокочастотный Гр установлен над низкочастотным, то абсолютно точечного источника мы не получаем.

Ещё одним шагом к созданию точечного всенаправленного источника звука явилась разработка, предложенная Ю. Грибановым и А. Клячиным (рис. 1), с шестью Гр, установленными на шести гранях «круглых» АС.

Эту АС нельзя назвать АСПП, т.к. присутствует векторная составляющая излучения. Но она является точечным

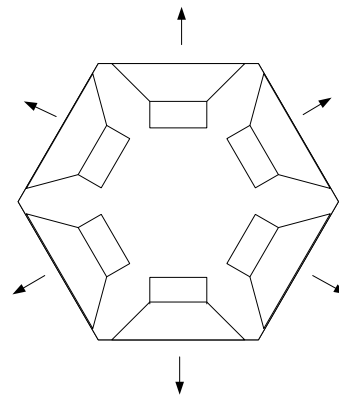


Рис. 1. Акустическая система с шестью громкоговорителями

всенаправленным источником звука. Есть ещё один недостаток: мы видим, что один и тот же сигнал излучается несколькими Гр. Невозможно добиться абсолютно синхронной работы всех громкоговорителей и идентичности их параметров. Это приводит к потере (замазыванию) тончайших нюансов фонограммы.

Наиболее полно идеологии АСПП соответствует АС, предложенная А. Виноградовым и А. Гайдаровым (рис. 2), так называемая «контрапертурная». Это полный эквивалент нашим ладоням. Создаётся виртуальный, точечный, всенаправленный, полнополосный источник давления. Вертикальная составляющая звуковой волны несколько подавлена. Система излучает волну, близкую к цилиндрической. Но, как говорил Михаил Васильевич Ломоносов, если где-то что-то прибыло, значит, где-то что-то убыло. Мы опять возвращаемся к той же проблеме, что и в предыдущем случае – не может быть абсолютно симметричных структур. На высоких частотах звуковые волны не всегда совпадают по фазе, и возникшая интерференция приведёт к искажению исходного тембра. Искажения, конечно, меньше, чем в предыдущем способе (меньше громкоговорителей), но проблема остаётся. Есть ещё одна проблема, связанная с подобной структурой – это двухполосность, что существенно усложняет процесс подбора Гр. Достаточно сложно в двухполосном варианте

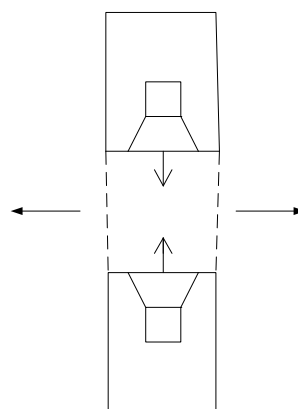


Рис. 2. Акустическая система, излучающая волну, близкую к цилиндрической

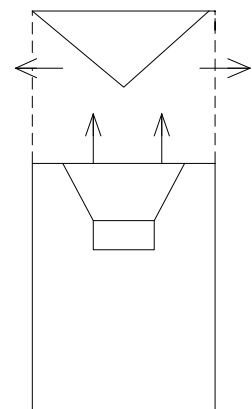


Рис. 3. Принцип конструкции АС с одним комплектом ГР

подобрать комплект Гр для воспроизведения необходимого диапазона частот.

Принцип работы третьего типа АСПП легко понять из рис. 3. Хлопаем одной ладонью по столу. Наличие одного комплекта громкоговорителей позволяет избежать недостатков, свойственных контрапертурной АС. Здесь также излучается цилиндрическая волна с круговой диаграммой направленности во всём диапазоне частот.

В настоящее время наша фирма, имеющая ряд патентов [8-13] на подобные АС, выпускает АСПП по двум структурам, изображённым на рисунках 4 и 5. Двухполосные АСПП, изготовленные по схеме, показанной на рис. 4, выпускаются для бытового использования в трёх объёмах: 5, 10 и 40 литров. Для небольших залов выпускаются активные АСПП мощностью 500 и 1000 Вт с

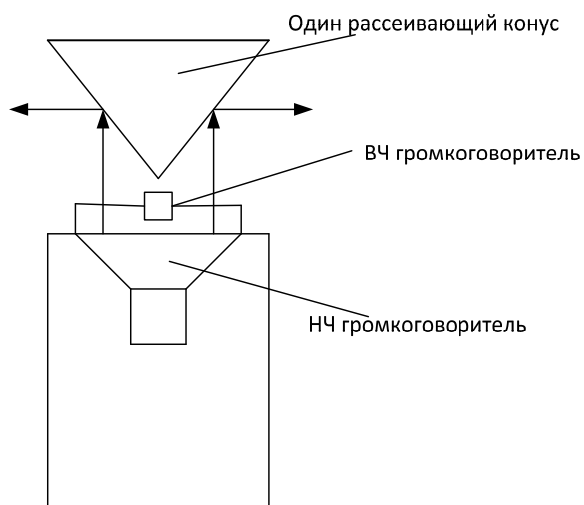


Рис. 4. Двухполосная структура

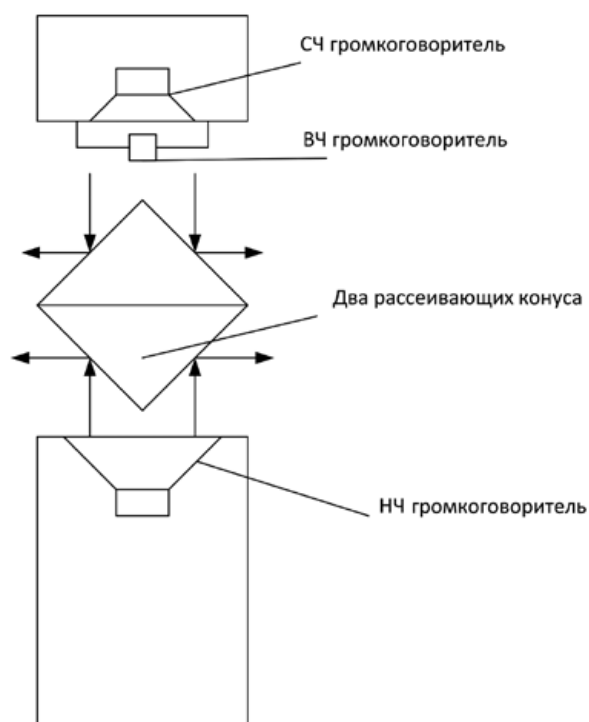


Рис. 5. Трёхполосная структура

использованием обычных и коаксиальных Гр. Структура АСПП, изображённая на рис. 5, реализует трёхполосный принцип, что существенно упрощает проблему подбора Гр. В настоящее время мы выпускаем АСПП объёмом 70 литров, рассчитанную на высококачественное воспроизведение стереофонических фонограмм.

Если говорить о недостатках АСПП, то единственное, о чём можно утверждать с некоторой долей уверенности, является некоторое ослабление атаки, так как звук излучается во все стороны, а не прямо на вас, как в стандартных АС. Однако необыкновенное ощущение комфортности и эмоциональной вовлечённости создают среду, недостижимую для стандартных АС. Приведённые здесь три типа АСПП не исчерпывают всего многообразия различных вариантов.

Как следствие, возникла идея проверить преимущества данной акустики при воспроизведении фонограммы, записанной в формате 5.1. Эта работа была проведена во ВГИКе во время практических занятий для студентов по специальности «звукорежиссура аудиовизуальных искусств». Мы решили понять, насколько увеличится зона комфортного прослушивания при демонстрации видеоматериалов в помещении площадью 40–50 м² для аудитории не более, чем 15–20 человек. Это был показ фрагментов учебных видео- и киноматериалов во время занятий для студентов. Широко распространённое оборудование систем «домашний кинотеатр» позволяет в таком помещении обеспечить комфортную зону прослушивания максимально для 5-6 человек. Если помещение позволяет расположить акустические системы левого и правого каналов на расстоянии 1,5–2 м от центрального канала, то для зрителей, находящихся по оси центрального канала, обеспечено комфортное прослушивание.

Для зрительских мест, расположенных посередине между левым и центральным, или правым и центральным каналами, вся звуковая картина смещается к ближайшей акустической системе левого или правого канала. При этом практически все реплики и большинство синхронных шумов звучат из центрального канала, что предусмотрено технологией перезаписи и многолетним опытом звукорежиссёров кинематографа. Этим достигается единство звукозрительного образа. Музыкальная компонента аудиовизуального произведения записывается с учётом занятости центрального канала, в котором её уровень почти всегда ниже центрального канала. И если считать пару LC и CR как отдельную двухканальную стереопару, то для зрителей, расположенных в центре этих стереопар, музыкальная компонента будет смещена в соответствующую месту сторону. То же самое будет происходить с фоновыми шумами. Подавляющее большинство фронтальных акустических систем «домашнего кинотеатра» имеют хорошо выраженную кардиоидную диаграмму направленности с обострением к высоким частотам, что ещё больше уменьшает комфортную зону прослушивания. Аналогичная ситуация получается и с тыловыми акустическими системами.

Для эксперимента в системе домашнего кинотеатра, установленной в аудитории кафедры звукорежиссуры ВГИКа, акустические системы левого и правого каналов и тыловые АС были заменены на АСПП компании «Валанкон». Для центрального канала использовалась акустическая система традиционной конструкции D'Arrolito, расположенная горизонтально. Была оставлена возможность оперативного подключения «штатных» акустических систем, установленных в аудитории. Многократно проводились сравнения звучания фрагментов фонограмм фильмов



Рабочая акустическая система в одном из дизайнерских оформлений

с опросом и отзывом студентов-зрителей для АСПП и традиционной системы домашнего кинотеатра. Использование АСПП позволило расширить зону комфортного прослушивания более чем в два раза. Слушатели, находящиеся в середине между центральным и одним из фронтальных каналов, практически не замечали этого смещения и при опросе считали эти места комфортными. Тыловые каналы с АСПП обеспечивали равномерное звучание фонов и музыки фонограммы даже при нахождении слушателя-зрителя рядом с АС. После окончания эксперимента большинство слушателей было недовольно возвращению в аудиторию традиционной системы «домашний кинотеатр».

Использование пассивных АСПП в таких условиях прослушивания позволяет при одинаковой стоимости с традиционными АС существенно увеличить размер зоны комфортного прослушивания. Исследования показали, что при использовании традиционных АС зона комфортного прослушивания составляет примерно 40% площади помещения, а при использовании АСПП – 85%. При этом все остальные компоненты системы (ресивер, источники сигнала, кабели) остаются прежними и не требуют замены.

Заключение

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Являясь скалярным излучателем, АСПП не требовательны к акустическому оформлению помещения, что показал многолетний опыт эксплуатации в различных комплексах домашнего кинотеатра.

2. Создаваемая «субъективная сцена» характеризуется чёткой локализацией виртуальных источников звука с широкой зоной комфортного прослушивания. Из отзывов слушателей: ...«С первых нот звук захватывает внимание. Очень необычно: при фиксируемых на слух левом и правом каналах, звук висит перед тобой. Середина выпукла и почти осязаема, но совершенно не напрягает»... «Основное впечатление получаешь, когда встаёшь с насаженного дивана, в этот-то момент и понимаешь всю «вкусняшку» данной акустики. Звук идёт за тобой... Учи-

тывая широкие проёмы и отсутствие дверей, звук настигает тебя практически на всём жилом пространстве!»...

3. Многолетний опыт эксплуатации в комплексах домашнего кинотеатра приводит к выводу о том, что АСПП можно использовать в качестве дополнения к стандартной системе кинопоказа в небольших залах и клубах. Там использование полного комплекта аппаратуры «DOLBY» невозможно по финансовым соображениям. Использование же АСПП позволит удовлетворить желание зрителей получить необходимый эмоциональный эффект.

4. Считаем целесообразным рекомендовать АСПП для целей озвучивания различных помещений, так как они позволяют сократить количество акустических систем в 3–4 раза по сравнению со стандартными. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Костин В.Н. Психоакустические критерии качества звучания и выбор параметров УМЗЧ. Журнал «Радио», № 12, 1987.
2. Костин В.Н. Лампы или транзисторы? Лампы! Журнал «Радио» № № 1,2,3,4, 1998.
3. Костин В.Н. Акустические системы с круговой диаграммой направленности излучения. Журнал «Радио», № 9, 2015.
4. Костин В.Н. Акустика пространственного звукового поля / Инновационные технологии в кинематографе и образовании: II Международная научно-практическая конференция. Москва, 21–25 сентября 2015 г.: Материалы и доклады. М.: ВГИК, 2015. С. 49–53.
5. Костин В.Н., Носуленко В.Н., Русина Е.А., Сологубов А.Н. Новые подходы формирования пространственного звукового образа в кинематографии. УДК 778.534.4
6. Костин В.Н., Смирнов В.Е., Сологубов А.Н. Студийные мониторы компании «Валанкон». V Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в кинематографе и образовании». Москва, 12–13 ноября 2018.
7. Костин В.Н. Без компромиссов – студийные акустические мониторы компании «Валанкон». Техническая конференция NATEXPO 2018.
8. Патент РФ № 56756. Акустическая система, 2006 г.
9. Патент РФ № 60292. Акустическая система, 2006 г.
10. Патент РФ № 89917. Акустическая система, 2009 г.
11. Патент РФ № 101884. Акустическая система, 2010 г.
12. Патент РФ № 133378. Акустическая система, 2013 г.
13. Патент РФ № 151979. Акустическая система, 2014 г.

От редакции журнала «Мир техники кино»: Предлагаем специалистам в области кинопоказа в небольших залах, клубах и комплексах домашнего кинотеатра принять участие в обсуждении данного доклада, содержащего, по мнению редакции, некоторые спорные положения и выводы. Присланные материалы будут опубликованы на страницах нашего журнала.



Гармонические киноформные микроструктуры В ДИФРАКЦИОННОЙ ОПТИКЕ И ГОЛОГРАФИИ

(доклад на XV Международной конференции «ГолоЭкспо»,
11–13 сентября 2018, Нижний Новгород, Россия)



Г.И. Грейсух, subscribing_2002@mail.ru, д.т.н, С.А. Степанов, д.ф-м.н, А.И. Антонов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; В.А. Данилов, Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН; Б.А. Усиевич, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, РФ

Аннотация

В рамках скалярной и строгой теорий дифракции проведены исследования гармонических пилообразных микроструктур, имеющих глубину рельефа, существенно превышающую центральную длину волны рабочего спектрального диапазона. Показана возможность сохранения высокой дифракционной эффективности независимо от ширины рабочего спектрального диапазона и при значительных углах падения излучения на микроструктуру. Показано также, что хроматизм гармонических линз управляем в весьма широких пределах. Отмечено, что благодаря своим уникальным свойствам гармонические линзы и дифракционные решётки, а также их микроарраьи могут успешно пополнить элементную базу не только дифракционной оптики, но и защитной голографии.

Ключевые слова: гармонические пилообразные микроструктуры, скалярная и строгая теории дифракции, дифракционная эффективность, хроматизм.

HARMONIC KINOFORM MICROSTRUCTURES IN DIFFRACTIVE OPTICS AND HOLOGRAPHY

G. Greisukh, S. Stepanov, A. Antonov, Penza State University of Architecture and Civil Engineering; V. Danilov, Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation, Russian Academy of Sciences; B. Usievich, Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Russia

Abstract

Within the framework of the scalar and strict diffraction theories, studies of harmonic sawtooth microstructures with a depth of relief substantially exceeding the central wavelength of the working spectral range were carried out. The possibility of maintaining high diffraction efficiency is shown irrespective of the width of the working spectral range and at significant angles of incidence of the radiation on the microstructure. It is also shown that the chromaticity of harmonic lenses is controlled in a very wide range. It is noted that due to their unique properties, harmonic lenses and diffraction gratings, as well as their microarrays can successfully replenish the elemental base not only of diffractive optics, but also of protective holography.

Keywords: Harmonic sawtooth microstructures, Scalar and strict diffraction theories, Diffraction efficiency, Chromatism.

■ Введение

Гармонической микроструктурой сегодня называют рельефно-фазовую пилообразную микроструктуру, которая работает в высоких порядках дифракции ($k \gg 1$) и имеет глубину рельефа, существенно превышающую расчётную длину волны [1]. Известно несколько подходов к исследованию такой микроструктуры в рамках скалярной теории дифракции (СТД) (см., например, [2,3]). Однако наиболее наглядным и информативным представляется подход, базирующийся на анализе условий, обеспечивающих таутохронность, при которой лучи, заполняющие один период микроструктуры и «дифрагированные» в рабочий порядок, имеют одинаковую оптическую длину. При этом оптические длины лучей двух примыкающих периодов отличаются на величину, равную произведению целочисленного порядка гармоничности m на расчётную длину волны λ_0 , как это показано в случае нормального падения плоской монохроматической волны на рис. 1 для гармонической линзы и на рис. 2 для гармонической дифракционной решётки.

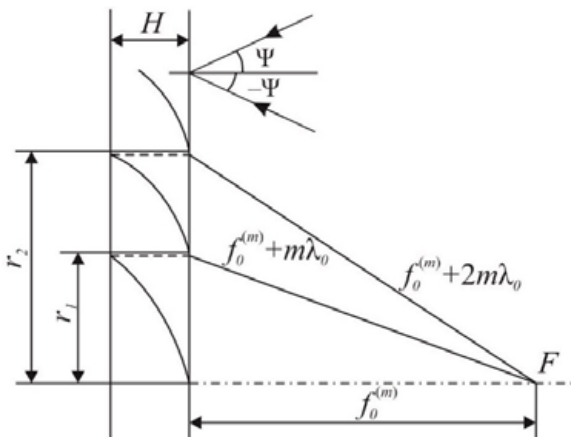


Рис. 1. Три приосевые зоны микроструктуры гармонической киноформной линзы (в верхней части рисунка показано, как соотносится знак угла падения излучения на линзу с пилообразным профилем микроструктуры при расчётах в рамках строгой теории дифракции)

Гармоническая киноформная линза в рамках СТД

Апертура гармонической киноформной линзы разбита на так называемые гармонические зоны Френеля. Под этим термином понимается кольцевая зона апертуры, расстояния от краёв которой до точки наблюдения (в данном случае фокальной точки F), различаются на величину, равную произведению порядка гармоничности на расчётную длину волны, как это и показано на рис. 1. В этом случае таутохронность обеспечивает идеальную фокусировку и концентрацию всей падающей на линзу энергии в единственном фокусе, т.е. единичную дифракционную эффективность (ДЭ). Если линза работает в k -м порядке дифракции, но $k=m$, то для i -ой гармонической зоны Френеля ($i=1, 2, 3 \dots$) выше оговоренное равенство оптических длин лучей описывается уравнением:

$$Hn_{\lambda_0} + f_0^{(m)} + (i-1)m\lambda_0 = H + f_0^{(m)} + im\lambda_0, \quad (1)$$

где H – глубина i -й зоны; n_{λ_0} и $f_0^{(m)}$ – показатель преломления материала подложки киноформной линзы и фокусное расстояние линзы в m -м дифракционном порядке на расчётной длине волны λ_0 . Равенство оптических длин остальных лучей внутри каждой зоны обеспечивается за счёт так называемого согласованного или коррелированного профиля пилообразного рельефа, впервые предложенного в работе [4].

Из уравнения (1) следует, что выполнение условия равенства оптических длин не зависит от фокусного расстояния, которое определяет радиусы гармонических зон. Действительно, из рис. 1 легко видеть, что у i -й зоны расстояние от центра микроструктуры линзы до внешнего края зоны равно

$$r_i = \sqrt{2if_0^{(m)}m\lambda_0 + (im\lambda_0)^2} \quad (2)$$

Вновь обращаясь к уравнению (1) и решая его относительно H , нетрудно получить:

$$H = m\lambda_0 / (n_{\lambda_0} - 1) \quad (3)$$

Из (3), в частности, следует, что поскольку H от i не зависит, то глубины рельефа всех зон киноформной линзы должны быть одинаковыми.

Таким образом, гармоническая киноформная линза, преобразующая плоскую и нормально падающую на неё волну с длиной λ_0 в сферическую, это дифракционный оптический элемент с пилообразной рельефно-фазовой микроструктурой. Этот элемент характеризуется, в частности, одновременным выполнением условий (2) и (3).

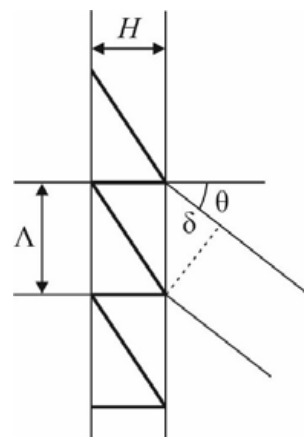


Рис. 2. Фрагмент гармонической дифракционной решётки

Пусть рабочая длина волны не совпадает с расчётной $\lambda \neq \lambda_0$. Требуя выполнение условия таутохронности для этой длины волны, найдём номер дифракционного порядка k и фокусное расстояние $f_\lambda^{(k)}$, для которых условие таутохронности по-прежнему будет выполняться. Из уравнения (1) следует, что

$$Hn_\lambda + f_\lambda^{(k)} + (i-1)k\lambda = H + f_\lambda^{(k)} + ik\lambda \quad (4)$$

И вновь мы видим, что выполнение требуемого условия не зависит от фокусного расстояния и, следовательно, можно принять $f_\lambda^{(k)} = f_\lambda^{(m)} = f_0^{(m)}$.

Решение уравнения (4) с учётом формулы (3) относительно λ , даёт уравнение для длины волны λ_k , на которой ДЭ в k -м дифракционном порядке будет равна единице:

$$\lambda_k = \lambda_0 \frac{m n_\lambda - 1}{k n_{\lambda_0} - 1}. \quad (5)$$

В случае традиционной киноформной линзы, т.е. при $m=1$, рабочий дифракционный порядок k может принимать значения 1, 2, 3 и т.д., а $\lambda_k \leq \lambda_0$. При этом наибольший интервал между двумя идеально фокусируемыми длинами волн $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 \cong 0.5\lambda_0$. В результате, если расчётная длина волны λ_0 принадлежит видимому спектральному диапазону ($0.4 \leq \lambda_0 \leq 0.7$ мкм), то все λ_k , начиная с $k \geq 2$, оказываются вне этого диапазона. Принципиально иная ситуация в случае гармонической киноформной линзы с $m \gg 1$. Она допускает все варианты: $k=m$, $k>m$ и $k<m$. Т.е. у гармонической киноформной линзы идеально фокусируемые длины волн λ_k составляют линейчатый спектр с длинами волн как короче, так и длиннее λ_0 , и к тому же с существенно меньшими и управляемыми, как будет показано ниже, интервалами между спектральными линиями.

Зависимость показателя преломления оптического материала от длины волны, описываемая той или иной дисперсионной формулой, в любом случае нелинейна, и решать уравнение (5) целесообразно итерационно. В табл. 1 сведены результаты решения этого уравнения, полученные при $\lambda_0=0.55$ мкм для гармонических киноформных линз, выполненных из кроноподобного оптического полиметилметакрилата (ПММА)

Табл. 1. Основные параметры гармонических киноформных линз, выполненных из кроноподобной и флинтоподобной оптических пластмасс

m	k	ПММА		РС	
		λ_k , МКМ	$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_{k+1}$, МКМ	λ_k , МКМ	$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_{k+1}$, МКМ
13	18	0.4074	0.0192	0.4163	0.0173
	10	0.7066	0.0615	0.6700	0.0592
25	35	0.4034	0.0100	0.4125	0.0092
	19	0.7149	0.0344	0.7079	0.0332
50	69	0.4086	0.0052	0.4174	0.0062
	38	0.7149	0.0176	0.7080	0.0170
100	138	0.4086	0.0026	0.4174	0.0024
	76	0.7059	0.0087	0.6993	0.0084

и флинтоподобного поликарбоната (РС) [5] и рассчитанных на работу в видимом спектральном диапазоне $0.4 \leq \lambda \leq 0.7$ мкм.

Как видно из табл.1, при одном и том же порядке гармоничности интервал между двумя идеально фокусируемыми длинами волн $\Delta\lambda$ растёт от коротковолнового края рабочего спектрального диапазона к длинноволновому, при этом крайние значения этой величины уменьшаются с ростом m .

ДЭ гармонической киноформной линзы в k -м дифракционном порядке на произвольной длине волны λ в рамках СТД можно оценить, воспользовавшись известной формулой, приведённой в работе [6]:

$$\eta = \left[\frac{\sin\left(\pi \left(k + \frac{m\lambda_0 (\cos\theta - \sqrt{n_\lambda^2 - \sin^2\theta})}{\lambda (n_{\lambda_0} - 1)} \right)\right)}{\sin\left(\pi \left(k + \frac{m\lambda_0 (\cos\theta - \sqrt{n_\lambda^2 - \sin^2\theta})}{\lambda (n_{\lambda_0} - 1)} \right)\right)} \right]^2. \quad (6)$$

Здесь θ -угол падения излучения из воздуха на элемент со стороны пилообразного рельефа, а n_{λ_0} и n_λ , как и выше, показатель преломления материала подложки киноформной линзы на длинах волн λ_0 и λ , соответственно.

Зависимость ДЭ от длины волны при $\theta=0$ представлена на рис. 3.

Здесь следует обратить внимание на то, что независимо от каждого из параметров, входящих в выражение (6), кривые $\eta(\lambda)$ пересекаются на одной и той же высоте ≈ 0.4 . Если при этом учесть, что в формировании полезного изображения на любой длине волны $\lambda_{k+1} \leq \lambda \leq \lambda_k$ будет участвовать излучение, одновременно дифрагированное в оба указанных порядка, то график суммарной ДЭ будут иметь вид, представленный кривой 4 на рис. 3. Т.е. на каждой из длин волн, лежащих в промежутке между λ_{k+1} и λ_k ДЭ не опустится ниже 0.8, а на побочные порядки, ответственные за падение контраста в изображении, гало и т.д., будет приходиться не более 20% падающей на киноформ энергии. Причём ДЭ не опустится ниже 0.8, независимо от полной ширины рабочего спектрального диапазона. Здесь уместно заметить, что у обычной киноформной линзы ($m=1$) при нормальном падении излучения и равенстве ДЭ на краях видимого спектрального диапазона ($0.4 \leq \lambda \leq 0.7$ мкм) эта ДЭ не может быть выше 0.75. Следовательно, с точки зрения эффективности, рассчитанной в

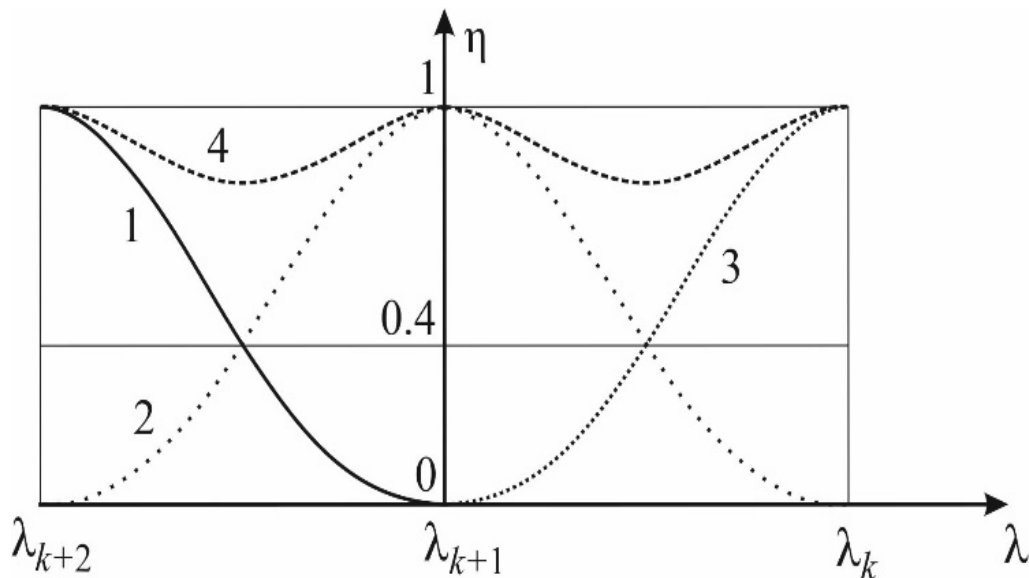


Рис. 3. Зависимости ДЭ от длины волны в k+2-м (1), k+1-м (2) и k-м (3) дифракционных порядках; 4 – кривая суммарной ДЭ двух соседних дифракционных порядков

рамках СТД, гармоническая линза даже в видимом диапазоне имеет определённое преимущество по сравнению с обычной киноформной.

Обратившись к выражениям (2) и (5), нетрудно видеть, что линейчатый спектр единичной ДЭ не совпадает со спектром, которому соответствует фиксированное фокусное расстояние $f = f_0^{(m)}$. Действительно, условие $f = f_0^{(m)}$ выполняется для длин волн $\lambda = m\lambda_0/k$, не зависящих от показателя преломления материала линзы, в то время как $\eta=1$ обеспечивается на длинах волн, в которые показатель преломления входит. О степени несовпадения позволяет судить табл. 2, в которой представлены длины волн, полученные при $\lambda_0=0.55$ мкм и $m=50$ для гармонических киноформных линз, выполненных из РММА и РС. Данное несовпадение линейчатых спектров будет пусть и незначительно, но отрицательно влиять на качество изображения.

Табл. 2. Длины волн, обеспечивающие выполнение соответствующих критериев в выбранных дифракционных порядках

Критерий	k	λ , мкм	
		РММА	РС
$\eta = 1$	50	0.55	
	51	0.5399	0.5403
	60	0.4639	0.4688
$f = f_0^{(m)}$	50	0.55	
	51	0.5392	
	60	0.4583	

Далее покажем, какие изменения с ДЭ гармонической киноформной линзы происходят в рамках СТД, при изменении угла падения излучения на линзу. Из формулы (6) следует, что с ростом θ изменяются значения k, при которых ДЭ в заданном интервале длин волн $\eta=1$. Т.е. в отличие от обычного киноформа, ДЭ, вычисляемая в рамках СТД, у гармонического киноформа с ростом угла падения излучения на элемент не падает, а остаётся практически неизменной. Меняются лишь номера дифракционных порядков: если при нулевом угле ($\theta=0$) ДЭ=1 наблюдалась на какой-то длине волны λ' в k' порядке, то при угле $\theta>0$ ДЭ=1, на примерно той же длине волны, передвинется на порядок $k''>k'$. Однако следует учесть, что реальная ДЭ, которую позволяет достоверно прогнозировать лишь строгая теория дифракции, существенно зависит от отношения периода микроструктуры к глубине рельефа (см., например, [7]), и рост глубины с увеличением порядка гармоничности может привести к ощутимому падению ДЭ, особенно при наклонном падении излучения на микроструктуру.

Гармоническая киноформная линза в рамках строгой теории дифракции

Для исследования зависимости ДЭ пилообразной гармонической микроструктуры от длины волны и угла падения излучения на микроструктуру в рамках строгой теории дифракции, основанной на решении системы уравнений Максвелла, использовался строгий метод связанных волн [Rigorouscoupled-waveanalysis (RCWA)] [8]. В соответствии с ним пилообразный рельеф дифракционной микроструктуры заменялся ступенчатым, и каждая ступень ограничивала тонкий слой, образующий бинарную диэлектрическую решётку, к которой применялось разложение в ряд Фурье.

Расчёты, выполненные с использованием компьютерной программы, представленной в [9], показали,

что зависимость ДЭ гармонической пилообразной микроструктуры от длины волны, оцениваемая RCWA-методом, имеет ту же самую синусоподобную форму, которую даёт и СТД (см. кривую 4 на рис. 2). При этом с ростом угла падения излучения на элемент, как это и прогнозирует СТД, увеличиваются номера дифракционных порядков, на которые приходятся максимумы ДЭ. Сами же максимальное и минимальное значения ДЭ, даваемые как СТД, так и RCWA-методом, не зависят от ширины рабочего спектрального диапазона. В то же время, если прогнозируемые СТД максимальное и минимальное значения ДЭ ($\eta_{\max}=1$; $\eta_{\min}\approx 0.8$) не зависят от угла падения излучения на микроструктуру, то значения η_{\max} и η_{\min} , получаемые RCWA-методом, зависят как от модуля, так и от знака угла падения. При этом значения η_{\max} уменьшаются с ростом модуля угла падения на величину, зависящую от относительного пространственного периода Λ/N и знака угла падения. Что касается η_{\min} , то эта величина в зависимости от модуля и знака угла падения излучения может несколько уменьшаться или, наоборот, увеличиваться. В результате чего наблюдается сглаживание кривой ДЭ или даже её инвертирование, когда $\eta_{\min} > \eta_{\max}$.

Таким образом, новые явления, относящиеся к ДЭ гармонической линзы и обнаруженные СТД-методом благодаря таутохронному подходу, реально существуют и, более того, достаточно точно описываются в рамках СТД при $\Lambda/N \geq 5$. Однако главным является то, что как усреднённое по всему рабочему спектральному диапазону, так и наименьшее значение ДЭ, в пределах этого диапазона с ростом модуля угла падения излучения на гармоническую киноформную микроструктуру снижается существенно в меньшей степени, чем в случае двух- и трёхслойных двух рельефных дифракционных микроструктур [10,11], имеющих одинаковые с гармонической микроструктурой относительные пространственные периоды.

Хроматизм гармонической киноформной линзы

В заключение коснёмся хроматизма гармонической линзы. Одной из общепринятых характеристик хроматизма первого порядка оптических элементов является коэффициент дисперсии. У обычных рефракционной и киноформной линз этот коэффициент имеет вид

$$v_{RL} = (n_{\bar{\lambda}} - 1) / (n_{\lambda_{\min}} - n_{\lambda_{\max}}) \quad (7)$$

и

$$v_{KL} = \bar{\lambda} / (\lambda_{\min} - \lambda_{\max}), \quad (8)$$

соответственно [12–14]. В формуле (7) $n_{\bar{\lambda}}$, $n_{\lambda_{\min}}$ и $n_{\lambda_{\max}}$ показатель преломления материала рефракционной линзы на центральной $\bar{\lambda}$ и крайних длинах волн λ_{\min} , λ_{\max} рабочего спектрального диапазона. Чем больше по модулю коэффициент дисперсии, тем меньше хроматизм. В обобщённом виде, не зависящем от типа оптического элемента, коэффициент дисперсии можно записать как

$$v = \Phi_{\bar{\lambda}} / (\Phi_{\lambda_{\min}} - \Phi_{\lambda_{\max}}), \quad (9)$$

где $\Phi_{\bar{\lambda}}$, $\Phi_{\lambda_{\min}}$ и $\Phi_{\lambda_{\max}}$ – значения оптической силы элемента (величины, обратной фокусному расстоянию) на соответствующей длине волны.

Если учесть, что в знаменателе формулы (9) должна быть максимальная по модулю разность оптических сил элемента в пределах рабочего спектрального диапазона, то в случае гармонической киноформной линзы, как следует из табл. 1, за максимальную и минимальную длины волн, приводящие к максимальной разнице оптических сил, следует принять $\lambda_{\max} = \lambda_{k_{\min}}$ и $\lambda_{\min} = 0.5(\lambda_{k_{\min}} + \lambda_{k_{\min}+1})$. Тогда центральной длиной волны окажется $\bar{\lambda} = 0.5(\lambda_{\max} + \lambda_{\min})$. В результате, используя выражение (8), для коэффициента дисперсии гармонической киноформной линзы получим:

$$v_{GKL} = 0.5 \frac{\lambda_{k_{\min}+1} + 3\lambda_{k_{\min}}}{\lambda_{k_{\min}+1} - \lambda_{k_{\min}}}. \quad (10)$$

В табл. 3 приведены для сравнения коэффициенты дисперсии элементов вышеперечисленных типов, выполненных из оптических пластмасс PMMA и PC, полученные для видимого спектрального диапазона ($\lambda_{\min}=0.4$ мкм, $\lambda_{\max}=0.7$ мкм).

Сразу же подчеркнём, что элементы различных типов, включая и гармоническую киноформную линзу, при

Табл. 3. Коэффициенты дисперсии элементов различных типов

Коэффициент дисперсии	Оптический материал	
	PMMA	PC
v_{RL}	25.5	12.48
v_{KL}	-1.83	
($m=50$; $\lambda_0=0.55$ мкм; $k_{\min}=38$)	-80.74	-82.79

одинаковых оптических силах $\Phi_{\bar{\lambda}}$ и равных по модулю коэффициентах дисперсии, будут иметь одинаковый по модулю продольный хроматизм, т.е. модули максимальных смещений фокальных плоскостей в рабочем спектральном диапазоне будут равными. Следует также обратить внимание на то, что хроматизм гармонической киноформной линзы выбором порядка гармоничности m может управляться в весьма широких пределах и оказаться, например, меньшим, чем у самых лёгких кронов. Таким образом, в плане хроматизма гармоническая киноформная линза обладает уникальными свойствами, отличающими её от оптических элементов всех остальных типов.

Гармоническая дифракционная решётка

Обратимся к рисунку 2, на котором показаны период решётки Λ , глубина пилообразного рельефа H и угол дифракции θ . Очевидно, что $\delta = \Lambda \sin \theta$, и всё падающее излучение будет дифрагировать в m -й порядок, распространяясь под углом θ , для которого выполняется условие

$$Hn_{\lambda_0} - (H + \Lambda \sin \theta) = 0. \quad (11)$$

Отсюда

$$H = \frac{\Lambda \sin \theta}{n_{\lambda_0} - 1}. \quad (12)$$

С другой стороны, в соответствии с известной формулой дифракционной решётки

$$\sin \theta = \frac{m\lambda_0}{\Lambda}, \quad (13)$$

подставляя (13) в (12), для глубины рельефа вновь получим (3):

$$H = m\lambda_0 / (n_{\lambda_0} - 1).$$

Очевидно, что излучение с любой другой длиной волны, удовлетворяющей условию

$$\lambda_k = \frac{m}{k} \lambda_0 \quad (14)$$

будет дифрагировать под тем же самым углом θ , но дифракционная эффективность будет на несколько процентов меньше из-за того, что $n_{\lambda_k} \neq n_{\lambda_0}$.

Таким образом, гармоническая дифракционная решётка на дискретных длинах волн λ_k будет эквивалентна призме, выполненной из материала с бесконечно большим коэффициентом дисперсии. В то же время для промежуточных длин волн коэффициент дисперсии материала призмы будет конечным и зависеть от порядка гармоничности.

Есть все основания полагать, что благодаря своим уникальным свойствам гармонические линзы и дифракционные решётки, а также их микроастрты могут успешно пополнить элементную базу не только дифракционной оптики, но и защитной голографии. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17- 19- 01461).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

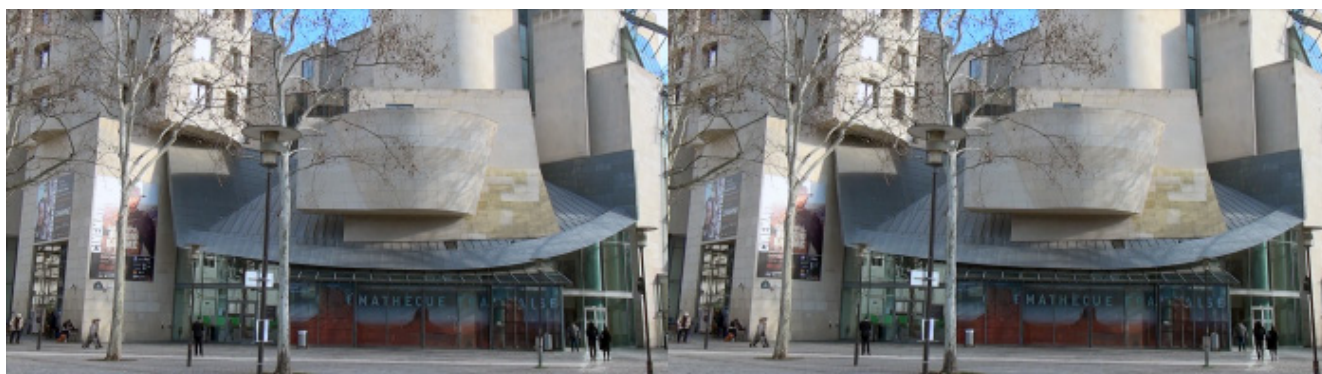
1. Sweeney D.W. Harmonic diffractive lenses / D.W. Sweeney, G.E. Sommargen / Applied Optics. — 1995. — Vol. 34. — N14. — P. 2469–2475.
2. Харитонов С.И. Геометрооптический расчёт фокального пятна гармонической дифракционной линзы / С.И. Харитонов, С.Г. Волотовский, С.Н. Хонина / Компьютерная оптика. — 2016. — Т. 40. — № 3. — С. 331–337.
3. Хонина С.Н. Анализ фокусировки гармонической дифракционной линзой с учётом дисперсии показателя преломления / С.Н. Хонина, С.Г. Волотовский, А.В. Устинов, С.И. Харитонов / Компьютерная оптика. — 2017. — Т. 41. — № 3. — С. 338–347.
4. Слюсарев Г.Г. Оптические системы с фазовыми слоями / Г.Г. Слюсарев / Доклады Академии наук СССР. — 1957. Т. 113. — № 4. — С. 780–782.
5. Zemax Virtual Prototyping / <http://www.radiantzemax.com>
6. Buralli D.A. Optical performance of holographic kinoforms / D.A. Buralli, G.M. Morris, J.R. Rogers / Applied Optics. — 1989. — Vol. 28. — N5. — P. 976–983.
7. Greisukh G.I. Comparison of electromagnetic and scalar methods for evaluation of efficiency of diffractive lenses for wide spectral bandwidth / G.I. Greisukh, V.A. Danilov, E.G. Ezhov, I.A. Levin, S.A. Stepanov, B.A. Usievich / Optics Communication. — 2015. — Vol.338. — P.54–57.
8. Moharam M.G. Diffraction analysis of dielectric surface-relief gratings / M.G. Moharam, T.K. Gaylord / J. Opt. Soc. Am. 1982. V. 72. — N10. — P. 1385.
9. Lyndin N.M. Modal and C Methods Grating Design and Analysis Software / <http://www.mcgrating.com>
10. Грейсух Г.И. Спектральная и угловая зависимости эффективности дифракционных линз с двухрельефной и двухслойной микроструктурой [Текст] / Г.И. Грейсух, В.А. Данилов, Е.Г. Ежов, С.А. Степанов Б.А. Усиевич / Оптический журнал. — 2015. — Т.82 — №5. — С.56–61.
11. Грейсух Г.И. Спектральная и угловая зависимости эффективности рельефно-фазовых дифракционных линз с двух- и трёхслойной микроструктурами [Текст] / Г.И. Грейсух, В.А. Данилов, Е.Г. Ежов, С.А. Степанов, Б.А. Усиевич / Оптика спектроскопия. - 2015. — Т.118. — №6. — С.118–125.
12. Чуриловский В.И. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. — Л.: Машиностроение, 1968. — 311 с.
13. Грейсух Г.И. Сравнительный анализ хроматизма дифракционных и рефракционных линз / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.А. Степанов / Компьютерная оптика. — М.: ИСОИ РАН, МЦНТИ, 2005. — Вып. 28. — С. 60–65.
14. Greisukh G.I. / Diffractive-Refractive Hybrid Corrector for Achromatic and Apochromatic Corrections of Optical Systems / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, S.A. Stepanov / Applied Optics. — 2006. — Vol. 45. — N24. — P. 6137–6141.



СОВЕТСКАЯ КИНОПАНОРАМА. Забывтый юбилей



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



Здание парижской Синематеки (стереопара)

■ Через год все киноманы мира отметят 125-летие любимого кинематографа. Газеты, журналы, телеканалы заполнят были и небылицы об истории или псевдоистории изобретения кинематографа. Специальные издания расскажут об успехах в развитии кинотехники за последние 125 лет. Но эти материалы ещё впереди, как и сам юбилей. Может быть, поэтому в ожидании крупного юбилея мирового масштаба, прошли неотмеченными шестидесятилетние юбилейные даты советского широкоэкранного и панорамного кинематографа. И если широкоэкранные фильмы – один из основных современных форматов и технических процессов, то что такое Кинопанорама, сегодня вспомнят только знатоки кинотехники и большие любители истории кинематографа, да и то не в России.

Именно такие любители и фанаты Кинопанорамы полностью заполнили один из залов парижской Синематеки 25 января 2019 года, где состоялась лекция автора ста-

тьи, киноведа Николая Майорова «История Советской Кинопанорамы». Сидящие в зале неожиданно для себя, из лекции российского киноведа, узнали, что 25 октября этого года исполнится 60 лет со дня открытия кинотеатра советской Кинопанорамы в Париже... Последовательный перевод выступления проводила профессор киноведения Кэролайн Дэмиенс. Сложность перевода состояла в том, что я подготовил всю программу в своём любимом стиле



В аппаратной Синематеки. Профессор киноведения Кэролайн Дэмиенс проводит последние согласования с техником (стереопара)



Во время проведения лекции «История Советской Кинопанорамы». Профессор киноведения Кэрлайн и киновед Николай Майоров (стереопары)



Здание парижской Синематеки



Демонстрация первого советского панорамного фильма «Широка страна моя...» в киевском панорамном кинотеатре (1958)

непрерывного кинопоказа материала, иллюстрирующего рассказ, и Кэрлайн Дэмьенс блестяще справилась с предварительным переводом текста выступления и успевала озвучить перевод в паузах моего выступления.

Разработанная в 1956 году в Научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ) под руководством Евсея Михайловича Голдовского отечественная система панорамного кинематографа успешно дебютировала для массового кинозрителя в конце января 1958 года в киевском кинотеатре «Кинопанорама», для которого в короткий срок реконструировали здание клуба в центре Киева, а затем 28 февраля 1958 года в Москве, где открылся первый крупный советский панорамный кинотеатр «Мир». Оборудованные исключительно отечественной кинопроекционной и звуковоспроизводящей аппаратурой, кинотеатры демонстрировали первый советский цветной панорамный фильм «Широка страна моя...» с девятиканальным стереофоническим звуком.

В целях унификации форматов и технических условий демонстрации и свободного обмена фильмами без дополнительных затрат на перевод кинофильма из одной системы в другую, создатели нашей кинопанорамы сочли необходимым взять за основу разработки основные характеристики успешно эксплуатирующейся по всему миру системы «Синерама».

Разработчики отечественной системы кинопанорамы выбрали:

- максимальные углы съёмки по горизонту 146°, а по вертикали 55°,
- размер съёмочного кадра 28,3x28 мм, высота шесть перфораций,
- частоту съёмки 25 к/сек,
- использовать для системы стандартные 35-мм плёнки с размещением на каждой плёнке по 1/3 общего изображения,
- шаг кадра до 28,5 мм.

Но это относится только к размеру кадра и скорости проекции. В остальном были учтены недостатки



Зал московского панорамного кинотеатра «Мир» (1958)



Демонстрация первого советского панорамного фильма «Широка страна моя...» в московском панорамном кинотеатре «Мир» (1958)



Специальная печать фильмокопий с введением оптического клина



Белые полосы на стыках кадров при проекции позитивов, напечатанных без оптического клина



Проекция панорамного кадра с позитивов, напечатанных с оптическим клином



Расположение динамиков в зале для девятиканального стереофонического звукового сопровождения

американской системы. Очень сложная и не совсем эффективная система гребёнок для смягчения швов в местах стыков изображений была заменена на специальную печать копий с введением оптического клина.

Для звукового сопровождения панорамных фильмов была создана своя девятиканальная система звукового сопровождения, свободно переводимая в шести- или семиканальную. Стереофоническая девятиканальная фонограмма записывалась и воспроизводилась на отдельной 35-мм перфорированной киноленте с ферромагнитным слоем.

Основные технические показатели системы «Кинопанорама»

- Ширина плёнки – 3х35 мм
- Размер кадра негатива на одной плёнке – 25,4х28,3 мм
- Размер проецируемого участка кадра на одной плёнке – 24,9х27,6 мм
- Суммарная площадь на трёх киноплёнках: негатив – 2099,8 мм², позитив – 2006,6 мм²
- Соотношение сторон изображения на экране – 2,6:1
- Номинальная частота съёмки и проекции – 25 кадров в секунду
- Шаг кадра – 28,5 мм
- Скорость движения киноплёнки в секунду – 712,5 мм
- Фокусное расстояние съёмочных объективов – 27, 35, 50, 75, 100 мм
- Фонограмма – магнитная девятиканальная

Первоначально для панорамных съёмок по советской системе «Кинопанорама» использовали три обычные кинокамеры 1, 2, 3 (рис. 1), собранные на одной площадке.

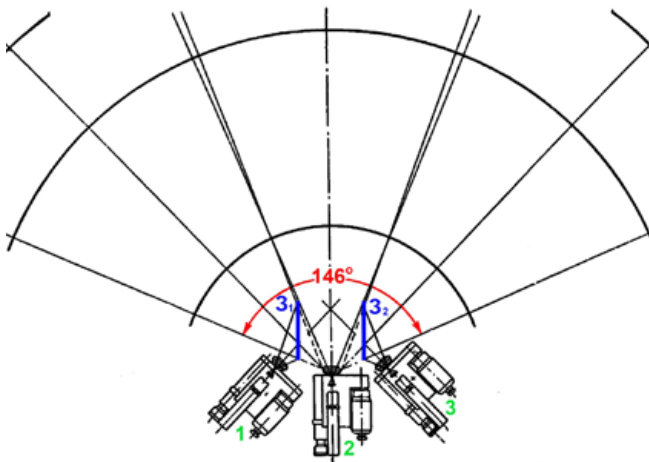
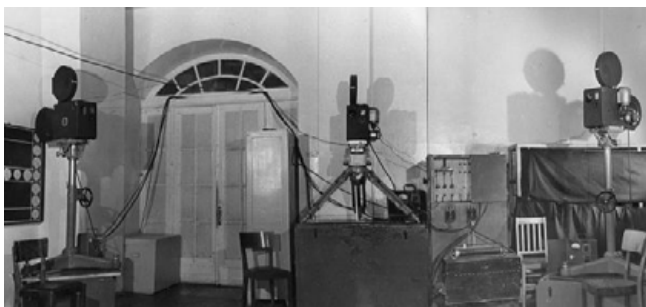


Рис. 1. Схема зеркальной панорамной трёхплёночной киносъёмочной камеры, разработанной московским Оптическим заводом в 1956 году



Установка для съёмки панорамного фильма из трёх 35-мм кинокамер



Аппаратура панорамного фильма, НИКФИ



Просмотр панорамного фильма в экспериментальном зале НИКФИ (1957)

Для обеспечения угла изображения, равного 146° , перед правой (1) и левой (2) камерами устанавливались зеркала (3_1 и 3_2). Такая конструкция панорамной киноустановки давала возможность съёмки с объективами разных фокусных расстояний. При смене объективов вносились изменения положения крайних аппаратов относительно среднего аппарата.

В середине 1956 года в Советском Союзе были проведены первые опытные съёмки панорамного фильма отечественной киноустановкой из трёх переоборудованных 35-мм кинокамер.

В декабре этого же года режиссёр К. Домбровский и операторы С. Рубашкин и В. Рыклин на Московской киностудии научно-популярных фильмов сняли 15-минутный экспериментальный панорамный фильм. В феврале 1957 года этот фильм был впервые показан на двадцатиметровом панорамном экране, установленном в экспериментальном зале Научно-исследовательского кинофотоинститута (НИКФИ).

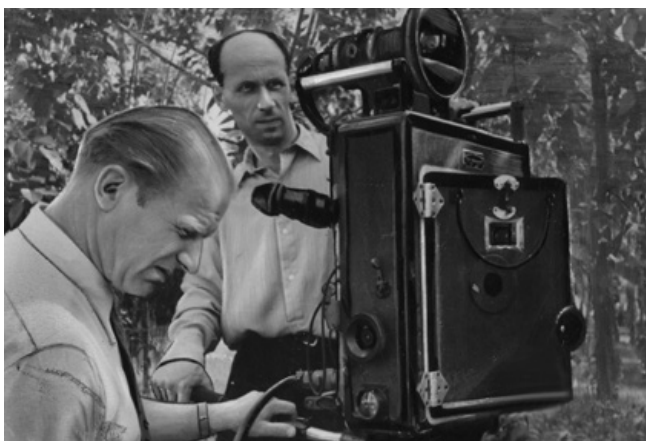
Специально для отечественной панорамной системы была разработана и выпускалась заводом «Москинап» панорамная кинокамера «СКП-1». Камера давала возможность использовать объективы с различным фокусным расстоянием: 27, 35, 50, 75 и 100 мм, в то время как в системах «Синерама» и «Синемиркал» были установлены объективы с фокусным расстоянием 27 мм, и использование сменной оптики было практически невозможно.

Внутри корпуса кинокамеры «СКП-1», имеющего высоту 520 мм, ширину по фронту 140 мм и длину 255 мм, установлены съёмочные объективы, оптические оси которых расположены на высоте 325 мм от основания корпуса. Оптические оси боковых объективов развёрнуты относительно оси центрального объектива по горизонту на 48° и охватывают поле в пределах 146° . Объективы, защищаемые от верхнего света козырьком. Съёмки ведутся тремя объективами через окно, на формат кадра 25,4x28,3 мм.

Управление диафрагмой и фокусировкой всех трёх объективов осуществляется при помощи двух рукояток, расположенных под козырьком над съёмочным окном. Одна из них, стоящая рычагом вниз, предназначена для одновременного управления диафрагмами всех трёх объективов. Шкала диафрагм предусматривает следующие относительные отверстия: 1:4,5; 1:5,6; 1:8; 1:11; 1:16.

Вторая рукоятка, стоящая рычагом вверх, предназначена для синхронной фокусировки всех объективов по дистанционной шкале от 1,5 м до бесконечности. Комплект кассет, ёмкостью по 300 м плёнки каждая, состоит из трёх штук. Каждая из них устанавливается на корпус в направлении оптических осей объективов. Это придаёт камере «веерообразную» форму.

В 1959 году завод «Москинап» начал выпуск разработанной Наумом Давыдовичем Бернштейном панорамной киносъёмочной камеры «ПСО-1960». Лентопротяжный механизм камеры был рассчитан на работу с различным количеством перфораций и различным форматом кино-



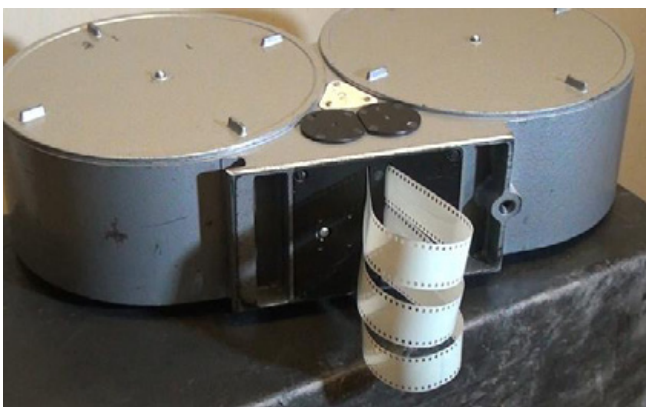
Панорамная кинокамера СКП-1. Слева – конструктор советских кинокамер Василий Иванович Омелин. За камерой – кинооператор Леонид Иванович Архипов



Объективы кинокамеры СКП-1



Съёмка эпизода пролога к панорамному фильму «Опасные повороты» кинокамерой «ПСО-1960»



Кассета для кинокамеры «ПСО-1960»

плёнки: специальной плёнки шириной 105 мм с шестью рядами перфораций, или тремя плёнками шириной 35 мм.

105-мм негатив после проявки мог быть разрезан на три обычных 35-мм для традиционного процесса дальнейшей работы. Или, что было несомненным достоинством, давал возможность одновременной проявки и контактной печати всех трёх частей кадра, обеспечивавших идентичные плотность и цветопередачу. Специально для такого формата плёнки были разработаны специальные проявочная машина и кинокопировальный аппарат «23ЛТК-1». Неразрезанная плёнка упрощала монтаж всего фильма.

Ещё одним достоинством «ПСО-1960» было расположение в одной плоскости всех трёх кадровых окон. А оптические оси объективов были параллельны, так как необходимые углы в пространстве предметов обеспечивались призменными насадками, объединёнными с объективами в неразборный оптический блок.

Были рассчитаны и изготовлены сменные оптические блоки с фокусными расстояниями 27, 35, 50, 75 и 100 мм. В каждом из них призмами нужной формы устанавливались соответствующие углы между их оптическими осями. Сменные оптические блоки давали уникальную возможность снимать панорамные фильмы разной крупностью плана.

В кинокамере «ПСО-1960» был установлен дисковый obturator с переменным углом раскрытия, который располагался за объективами и устанавливался для обеспечения одновременного экспонирования всех трёх кадров с таким расчётом, чтобы кромка его лопасти была параллельна линии кадровых окон.

НИКФИ провёл разработку специальных проекционных аппаратов для «Кинопанорамы». Их производство было освоено на киевском заводе «Кинодеталь». В 1957 году завод изготовил проекционные аппараты КПП-1 со световым потоком до 12000 лм, а через год начал выпускать усовершенствованные кинопроекторы КПП-2 со световым потоком 15000 лм.

Завод «Кинодеталь» освоил выпуск фильмофонографов для воспроизведения девятиканальных фонограмм «Кинопанорамы» с отдельной 35-мм магнитной ленты. Кстати, один такой фильмофонограф до сих пор работает в кинотеатре «Круговая кинопанорама» на ВДНХ в Москве.



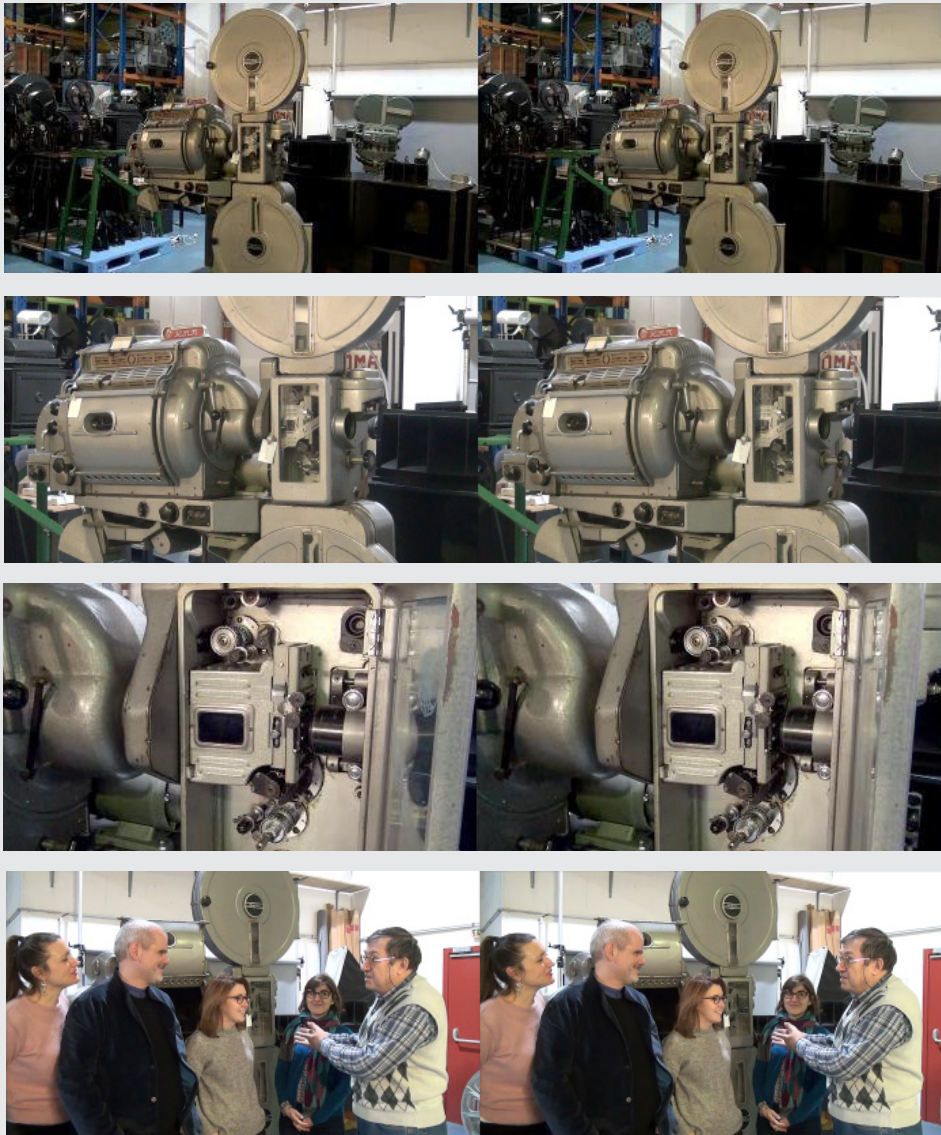
Панорамные кадры на 105-мм киноплёнке

Для демонстрации панорамных фильмов в нашей стране начали проектироваться и строиться панорамные кинотеатры. Первым из них стал киевский кинотеатр «Кинопанорама», для которого в короткий срок реконструировали здание клуба в центре Киева.

В конце января 1958 года здесь началась демонстрация первого советского цветного панорамного фильма с 9-канальным стереофоническим звуком «Широка страна моя...». 28 февраля 1958 года в Москве открылся самый крупный советский панорамный кинотеатр «Мир». Здесь и состоялась официальная премьера первого советского цветного панорамного фильма с 9-канальным стереофоническим звуком «Широка страна моя...» Вскоре, после киевского и московского, «от Москвы до самых до окраин» по Советскому Союзу начали открываться панорамные кинотеатры. Некоторые из них были просто уни-

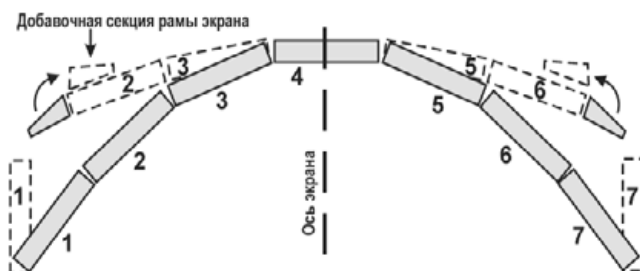
кальными – одни по размеру зала, другие – по устройству экрана. К последним относится трёхзальный панорамный кинотеатр «Ленинград», открывшийся в городе на Неве 7 ноября 1958 года. Кинотеатр отличался от киевского и московского уникальным панорамным экраном-трансформером с максимальным размером 27,6х10,4 м. Этот экран позволял изменять не только экранную площадь, но и кривизну дуги в зависимости от формата демонстрируемого фильма. С механизмом действия такого экрана мы познакомимся в другом панорамном кинотеатре, для этого отправимся на Урал. Первый на Урале панорамный кинотеатр «Кристалл» открылся в городе Пермь 30 декабря 1960 года. Кинотеатр построен по проекту, разработанному авторским коллективом пермского Горпроекта. Это был первый в стране проект специального здания для панорамного кинотеатра.

Один из кинопроекторов КПП сохранился в коллекции кинотехники парижской Синематеки



В фондах кинотехники парижской Синематеки у панорамного кинопроектора КПП. На фото слева направо: хранитель коллекции кинотехники Лора Пархоменко, научный руководитель коллекции и консервации техники Лоран Маннони, переводчик Наташа, научный сотрудник синематеки Вафа Жермани и Николай Майоров (стереопары)

Схема рамы экрана кинотеатра «Кристалл»



Для высококачественного показа кинофильмов различного формата в кинотеатре установлен трансформирующийся киноэкран, состоящий из семи секций. При демонстрации широкоформатных и широкоэкранных фильмов две крайние секции (1 и 7), применяющиеся только при демонстрации панорамных фильмов, откатываются к боковым стенам. Остальные пять средних секций связаны между собой шарнирно и могут образовывать дугу различных радиусов длиной 18 метров. Для увеличения ширины экрана при показе широкоформатного фильма к пяти секциям рамы добавляются ещё две секции шириной по 2 м. Таким образом, размер широкоформатного изображения составляет 22,5x10,3 м по дуге. Для демонстрации панорамных фильмов шарнирная система пяти центральных и двух боковых секций экрана позволяла создать дугу в 146 градусов, образуя экран размером 27,5x10,3 м.

Огромными панорамными экранами шириной 34 метра и зрительными залами на 2300 мест и более поражали зрителей целиноградский «Дворец Целинников» (открылся 6 ноября 1963 года) и «Панорамный кинотеатр им. А. Навои» в Ташкенте.

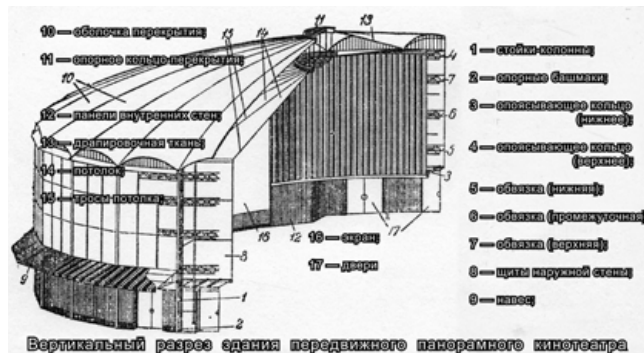


«Панорамный кинотеатр им. А. Навои» в Ташкенте (1964)

Каждая из среднеазиатских республик СССР гордилась своим панорамным кинотеатром: «Россия» – во Фрунзе, «Целинный» – в Алма-Ата, «Панорамный кинотеатр им. А. Джами» – в Душанбе.

Но больше всех панорамных кинотеатров было открыто на Украине: «Кинопанорама» в Киеве и Донецке, «Панорама» в Днепропетровске, «Родина» в Одессе.

Передвижной панорамный кинотеатр



Вертикальный разрез здания передвижного панорамного кинотеатра

Судя по обращениям в Министерство культуры УССР от общественности и жителей многих областей Украины с просьбой оборудовать в областных и районных центрах, крупных промышленных городах панорамные кинотеатры, расширить показ панорамных фильмов, новый вид кинематографа вызвал зрительский интерес и пользовался большой популярностью у зрителей Украины.

И если в Одессе, Донецке, Киеве и Днепропетровске строительство и эксплуатация стационарных панорамных кинотеатров полностью экономически были оправданы, то в небольших городах это было нецелесообразно из-за низкого коэффициента использования дорогостоящей панорамной киноаппаратуры. Поэтому на Украине возникла идея создания передвижного панорамного кинотеатра на 600–700 мест для обслуживания областных и районных центров республики. Работая по принципу цирка шапито, переезжая из города в город, такой кинотеатр мог обеспечить высокий коэффициент загрузки и быструю окупаемость расходов на его создание.

Работы по проектированию и сооружению передвижного панорамного кинотеатра начались в 1960 году. По проекту предполагалось использовать для строительства современные материалы, имеющие достаточную прочность, небольшой вес – алюминиевый профильный и листовая сплав, сталь, пластмасса и ткани.

Здание передвижного панорамного кинотеатра представляет собой двадцатичетырёхгранник. Диаметр круга, описанного по его вершинам, – 26 м, высота здания – 9,5 м. Конструкции здания передвижного панорамного кинотеатра легко собираются и разбираются и перевозятся на автопоезде, состоящем из двенадцати грузовых автомашин и одного прицепа. По проекту зрительный зал кинотеатра рассчитан на 683 места. Высо-

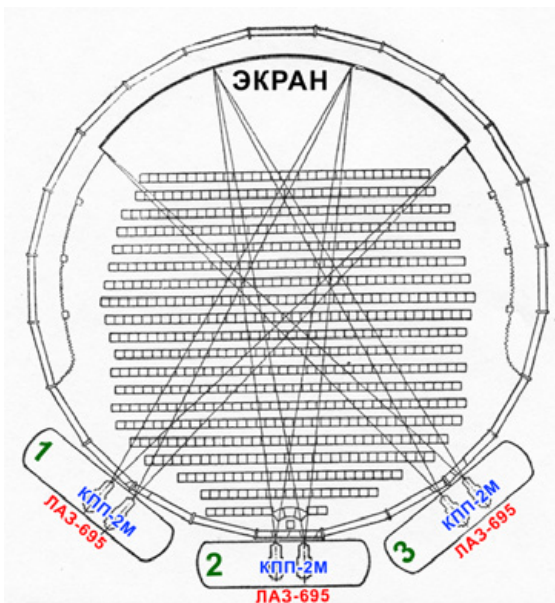


Схема зрительного зала передвижного панорамного кинотеатра

та экрана составляла 8,4 м, а ширина по дуге – 22,8 м. Радиус дуги равнялся 12,5 м. Нижняя кромка экрана на высоте 0,8 м от уровня пола.

Каждый из 20 рядов зрительских мест располагается на расстоянии 95 см друг от друга.

Три проекционные киноаппаратные располагались в трёх автобусах ЛАЗ-695, которые устанавливались снаружи по касательным к периметру здания кинотеатра. В них были установлены по два панорамных кинопроектора типа КПП-2М, два фильмофонографа ФФП-9М и комплект стереофонического девятиканального усилительного устройства 30-УЗС-1П. С целью уменьшения числа киноаппаратных в центральной аппаратной установлена звуковоспроизводящая техника, в левой боковой – электросиловая, в правой боковой – монтажная. Проекционное расстояние для всех аппаратных одинаково – 26 м. Фокусное расстояние объективов 85 мм. Звуковоспроизводящее оборудование центральной аппаратной соединено с пультом оператора 100К-2М и девятью группами громкоговорителей, расположенных в зрительном зале. О том, что такой кинотеатр спроектирован и строится на Украине, известно из периодической печати начала 60-х. Но, к сожалению, каких-либо данных о работе такого кинотеатра пока обнаружить не удалось.

Зарубежные путешествия кинопанорамы

Зарубежный дебют советской Кинопанорамы состоялся на Международной выставке ЭКСПО 1958 года в Брюсселе. Фильм «Широка страна моя...» под названием «Great is my Country» демонстрировался на выставке с 17 апреля по октябрь 1958 года в павильоне СССР при помощи установленной там советской аппаратуры на панорамном экране размером 24х9 м. Всё проекционное и звуковое оборудование по системе «Кинопанорама» было доставлено на выставку из Советского Союза и, после окончания работы выставки, было пред-



Париж. Кинотеатр «Кинопанорама»

назначено для установки в парижском кинотеатре «Le Kinopanorama».

В одном из старейших американских кинотеатров «Mayfair Theatre» в Нью-Йорке советский фильм, уже получивший международное название «Great Is My Country», демонстрировался почти целый месяц с 30 июня по 20 июля 1959 года. В этом же кинотеатре в течение двух недель с 21 июля 1959 года демонстрировался и второй советский панорамный фильм «Волшебное зеркало» под названием «The Enchanted Mirror».

25 сентября 1959 года в Париже открылся панорамный кинотеатр «Le Kinopanorama», оборудованный советской проекционной и звуковой аппаратурой по системе «Кинопанорама». Всё оборудование для демонстрации панорамных фильмов по советской системе «Кинопанорама» было специально разработано в московском Научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ). В зале был установлен панорамный экран размером 20х7,7 м с дугой в 109 градусов и звуковоспроизводящее оборудование, 98 динамиков которого обеспечивали девятиканальное стереофоническое сопровождение панорамных фильмов.



Зал парижского панорамного кинотеатра «Кинопанорама»

С 25 сентября 1959 года в течение двух лет здесь демонстрировался панорамный фильм «Два часа в СССР» (Deux heures en URSS), специально смонтированный Жаном Полем Моклером (Jean Paul Mauclair) для парижского кинотеатра из лучших эпизодов двух советских панорамных фильмов «Широка страна моя...» и «Волшебное зеркало».



Французские афиши к советской панорамной программе «Два часа в СССР» (1959)

Панорамную часть программы предварял Пролог «Россия 50 лет назад», специально для этой программы снятый на киностудии «Мосфильм» в обычном формате. За два года эту программу в Париже посмотрело более 850.000 зрителей.

14 октября 1960 года парижским зрителям была представлена новая программа, составленная Жаном Деваивром (Jean Devaivre) и Ниной Компаниеес (Nina Comraneez) из трёх советских панорамных фильмов «На Красной площади» (1960), «Цирковое представление» (1960) и «Час неожиданных путешествий» (1959). Эта программа, получившая название «Французы в Москве» (Un Français a Moscou), имела большой успех у зрителей. Часть музыкальных номеров этой программы была выпущена французской звукозаписывающей компанией Ducretet Thomson массовым тиражом на грампластинке.

12 мая 1961 года парижане и гости французской столицы смогли увидеть советский панорамный фильм «СССР с открытым сердцем» («L'Urss a Coeur Ouvert») (1961). Газета «Московская кинонеделя» в номере от 6 августа 1961 года в канун московской премьеры фильма писала: «Фильм «СССР с открытым сердцем» создан по специальному заказу театра «Кинопанорама» в Париже, где картина с большим успехом демонстрируется уже два месяца. Это третья по счёту кинопрограмма, которая создавалась специально для Франции советскими и французскими кинодеятелями. *Две первые – «Французы в Москве» и «Два часа в СССР» уже известны французскому зрителю».*

1 марта 1962 года началась демонстрация новой программы, созданной из советских панорамных фильмов и получившей французское название «Kinochoc».

Это действительно был «киношок», так как программа состояла из самых эффектных и выгодных для панорамного восприятия кадров из первого в мире полнометражного игрового панорамного фильма «Опасные повороты» (1961), рассказывающего забавную историю о жизни автогонщиков. Также в программу были включены захватывающие кадры из фильмов «В Антаркти-



Французская афиша к советской панорамной программе «Французы в Москве» (1960)

ду за китами» и «Удивительная охота», выпущенных на экран в 1962 году.

21 ноября 1962 года многие посетители парижской кинопанорамы впервые увидели легендарную русскую реку Волгу. В этот день началась демонстрация нового советского полнометражного игрового панорамного фильма «Течёт Волга» (1962).

А через полгода, 26 апреля 1963 года, кинотеатр «Le Kinopanorama» начал демонстрировать четвёр-

тую панорамную кинопрограмму «Закон Антарктиды» (La Loi de l'Antarctic), составленную из фрагментов панорамного фильма «Зимние этюды» (1963) и двух советских широкоформатных (70-мм) фильмов «Закон Антарктиды» (1962) и «На подводных скутерах» (1963). Специально для этой программы два широкоформатных фильма были оптическим путём переведены в формат трёхплёночной кинопанорамы, что позволило использовать материал этих фильмов при монтаже и демонстрации всей программы в формате «Кинопанорама». Так же был конвертирован в трёхплёночный формат и советский широкоформатный фильм «Оптимистическая трагедия» (La Tragedie Optimiste), демонстрация которого парижской кинопанорамой началась в сентябре 1963 года.

Но советские панорамные фильмы демонстрировались не только в столице Франции. В Марселе, крупнейшем порту Франции и всего Средиземноморья 27 января 1957 года открылся панорамный кинотеатр «ABC Theatre», оборудованный по системе «Cinerama». Именно здесь с 22 февраля 1961 года по 20 марта 1962 года успешно демонстрировался советский панорамный фильм «СССР с открытым сердцем» и уже упоминавшаяся выше кинопрограмма «Два часа в СССР». В кинотеатре был установлен панорамный дугообразный экран размером 22x7 м, но в отличие от парижского кинозала, звуковое оборудование «ABC Theatre» соответствовало стандарту «Cinerama» и было семиканальным, что ухудшало восприятие девятиканальной фонограммы советской системы Кинопанорама.

В 1958 году самый вместительный и красивейший кинотеатр Норвегии «Колизей» (Colosseum), открытый в Осло 14 января 1928 года, был переоборудован для демонстрации панорамных фильмов по системе «Cinemiracle». Именно в этом кинотеатре с 12 февраля 1959 года по конец марта 1959 года на панорамном экране размером 27,5x9,5 м с дугой в 120 градусов успешно проходили демонстрации советского панорамного фильма «Широка страна моя...»

Советские панорамные фильмы с 17 апреля 1961 года по 20 декабря 1963 года демонстрировались на Кубе в гаванском Radiocentro, в зале на 1700 мест с панорамным экраном размером 20,4x7,3, радиус 146-градусной дуги которого составлял 8 м.

Конвертация форматов

К 1961 году за рубежом СССР уже успели снять около двух десятков широкоформатных фильмов по системе «Todd AO» и открыть сотни кинотеатров по всему земному шару для их демонстрации. А у нас для демонстрации первенца советского широкого формата «Повесть пламенных лет» пришлось в спешном порядке переоборудовать панорамный кинотеатр «Мир», где 23 февраля 1961 года и состоялась его премьера.

Начало было положено. А что дальше?! Один «Мир» в Москве для демонстрации фильмов по новой системе, как некогда только один на всю страну кинотеатр «Стереokino»! В СССР только началось проектирование широкоформатных кинотеатров, а в производстве было уже несколько новых широкоформатных картин.

Что делать? Решение нашлось, и сразу два. Первое - установить 70-мм кинопроекторы в панорамных кинотеатрах, но их надо было ещё сделать. У нас в стране было плановое хозяйство: новый формат запланировали, а новые кинотеатры под него и проекционную аппаратуру – нет.

Кому пришла в голову идея второго варианта решения задачи демонстрации широкоформатных фильмов при отсутствии кинотеатров и оборудования, сегодня установить трудно. Идея эта состояла в том, что с оригинального 70-мм негатива оптическим путём начали делать распечатку кадра на три позитивных плёнки в формате советской трёхплёночной системы «Кинопанорама», и в таком виде демонстрировать широкоформатные фильмы в панорамных кинотеатрах СССР.

Сегодня мало кто из кинематографистов и историков кино вспомнит, что известные всем широкоформатные фильмы: «Повесть пламенных лет» (1960), «Суд сумасшедших» (1961), «Закон Антарктиды» (1962), «Оптимистическая трагедия» (1963), «Спящая красавица» (1964), «Секрет успеха» (1965) и другие демонстрировались в панорамных кинотеатрах Советского Союза по системе «Кинопанорама» с трёх плёнок. Неожиданно, реализация этой идеи решила сразу две проблемы: проблему отсутствия широкоформатных кинотеатров и проблему отсутствия новых панорамных фильмов.



Пример конвертации широкоформатного 70-мм фильма «Крепостная актриса» в 35-мм трёхплёночный панорамный формат

Интересный исторический парадокс: в Советском Союзе продолжали проектировать и строить панорамные кинотеатры, и при этом практически прекратили съёмку панорамных фильмов, перевода кинопроизводство на съёмку фильмов широкоформатных. Если мы посмотрим фильмографию панорамных и широкоформатных фильмов начала 60-х, то увидим, что если в 1961

году было снято шесть панорамных фильмов и только один широкоформатный, то в 1963 году были сняты два панорамных фильма, ставших последними в этой системе, и два широкоформатных. А в следующем, 1964 году, уже шесть широкоформатных фильмов были завершены производством, и полностью прекращены работы над панорамными фильмами.

В Италии Миланский кинотеатр Manzoni Cinerama с 10 мая 1961 года по 27 июля 1961 года демонстрировал по системе Синерама с итальянским саундтреком панорамную программу «Два часа в СССР» («Due Ore in USSR») на экране размером 24,4x8,5 м с дугой 146 градусов.

1 июня 1961 года. В Западном Берлине в кинотеатре Cinerama «Capitol» началась демонстрация советской программы кинопанорамы «Zwischen Nordpol und Krim» (Между Северным полюсом и Крымом), смонтированной из эпизодов советских панорамных фильмов «Широка страна моя...» и «Волшебное зеркало».

В начале шестидесятых годов прошлого века панорамная программа «Два часа в СССР» четыре месяца демонстрировалась в кинотеатре Асакуса Шокикуза (浅草翔久座 / Asakusa Shohikuzo) в Токио.



Афиша кинопанорамы «Zwischen Nordpol und Krim» (Между Северным полюсом и Крымом), 1961

По системе Cinerama панорамный фильм «Два часа в СССР» демонстрировался в ЮАР в кинотеатре Cinerama Theatre Johannesburg с 6 июля 1962 года по 19 декабря 1962 года.

Советская панорамная программа «Два часа в СССР» (Ryssland – landet vi iske k nner) в 1962 году демонстрировалась в двух панорамных кинотеатрах Швеции по системе Cinerama с семиканальным английским саундтреком. Сначала в кинотеатре «Дракене» (Draken) в Гетеборге (экран 20x6,4 м), затем в стокахольмском синерамном кинотеатре «Винтерпалатете» (Vinterpalatset) на экране размером 20x7,9 м.

В 1993 году австралийская компания Fifth Continent Movie Classics in Australia с помощью специалистов НИКФИ восстановила киносъёмочный аппарат «ПСО-1960» и сняла несколько видовых картин. Тестовый фильм, созданный российско-австралийской съёмочной группой, позднее демонстрировался под названием «Целомудрие, правда и «Кинопанорама», пародирующим название кинодрамы Содерберга «Секс, ложь и видео». В 1995 году этим же оборудованием снят короткометражный фильм «Баунти» (The Bounty). ■

Фильмография советских панорамных фильмов

ШИРОКА СТРАНА МОЯ... (Great Is My Country) (1957)

Премьера: 28.02.1958, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр: Роман Кармен
Операторы: С. Медынский, Л. Зильберг, З. Фельдман, В. Рыклин, Г. Хольный

ВОЛШЕБНОЕ ЗЕРКАЛО (The Enchanted Mirror) (1958)

Премьера: 21.12.1958, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёры: И. Аксенчук, В. Комиссаржевский, Л. Кристи.
Операторы: И. Гутман, А. Колошин, С. Медынский, Л. Кристи, В. Воронцов

ДВА ЧАСА В СССР (Deux heures en URSS) (1961)

Премьера: 25.09.1959, Paris
Режиссёры: И. Аксенчук, В. Комиссаржевский, Л. Кристи
Анимация: Л. Мильчин, И. Шварцман, А. Винокуров, Т. Сазонова
Операторы: И. Гутман, А. Колошин, С. Медынский, Л. Кристи, В. Воронцов
Операторы анимации: Б. Астафьев, Н. Климова

ЧАС НЕОЖИДАННЫХ ПУТЕШЕСТВИЙ (One Hour of Unexpected Travels of Helicopter) (1959)

Премьера: 26.01.1960, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр: Леонид Кристи
Операторы: Н. Генералов, И. Гутман, А. Колошин

НА КРАСНОЙ ПЛОЩАДИ (Fourth Programme of Panorama Films: On the Red Square) (1960)

Четвёртая программа панорамных фильмов
Премьера: 08.08.1960, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр: Леонид Кристи
Операторы: В. Воронцов, И. Гутман

ЦИРКОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ (Fourth Programme of Panorama Films: Circus Performance) (1960)

Четвёртая программа панорамных фильмов
Премьера: 08.08.1960, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр: Леонид Кристи
Операторы: В. Воронцов, И. Гутман

СССР С ОТКРЫТЫМ СЕРДЦЕМ (USSR With an Open Heart) (1961)

Премьера: 07.08.1961, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёры-постановщики: Василий Катанян, Леонид Кристи
Операторы: В. Воронцов, Н. Генералов, И. Гутман, А. Колошин, С. Медынский

ОПАСНЫЕ ПОВОРОТЫ (Naughty Curves) (1961)

Премьера: 09.10.1961, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёры-постановщики: Ю. Кун, К. Кийск
Операторы: Э. Штырцкобер, П. Русанов, В. Воронцов

В АНТАРКТИДУ ЗА КИТАМИ (To the Antarctic for the Whales) (1962)

Режиссёр-оператор: С. Коган

УДИВИТЕЛЬНАЯ ОХОТА (Amazing Hunting) (1962)

Премьера: 09.07.1962, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр-постановщик: Б. Долин
Операторы: А. Миссюра, Э. Эзов

ТЕЧЁТ ВОЛГА (The Volga Flows On) (1962)

Премьера: 01.03.1963, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр-постановщик: Яков Сегель
Операторы: И. Зарафьян, Б. Монастырский

ЗИМНИЕ ЭТЮДЫ (Winter Studies) (1963)

Премьера: 12.06.1963, Москва, панорамный кинотеатр «Мир»
Режиссёр-постановщик: Станислав Ростоцкий
Оператор: М. Якович