



стр. 3



стр. 25



стр. 30



стр. 37

2023-1(17) СОДЕРЖАНИЕ

Технологии

И.А. Поморин Как человечеству не попасть в нейросети компьютера. Искусственный интеллект в нейросетях для кино, телевидения и образования	3
С.Б. Бирючинский Фотоника для нейроморфных вычислителей и их применение в оптических разработках	10
Л.С. Тихонова Универсальный электрический эквивалент громкоговорителя	19

Мастер-класс

А.С. Мелкумов Лев Толстой по ту сторону стереокино	25
Е. Артемов Как научиться композиции. Часть 6. Начало работы с цветом	30

Страницы истории кино

О.Н. Раев, Г.В. Тихомирова, К.К. Гудинов Этапы развития отечественной науки о киносъёмочной аппаратуре	37
--	-----------

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

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

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

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

Руководитель проекта: Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Индлин Юрий Александрович, к.т.н.
Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич
Вёрстка и дизайн: Луговова 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., г. Санкт-Петербург, РФ
Березин О.С., «Невафильм», г. Санкт-Петербург, РФ
Раев О.Н., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ.

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5 п.л. Заказ № 164643.
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-edition.ru, e-mail: kevin@paradiz.ru
телефон (факс): +7 (495) 795-02-99, 795-02-97

2023-1(17) CONTENT



p. 3



p. 25



p. 30



p. 37

Technology

S. Biryuchinskiy
Photonics for neuromorphic computing and their application in optical development 3

I. Pomorin
As to humanity do not get into the neural network computer. Artificial intelligence in neural networks for cinema, television and education 10

L.S. Tikhonova
Educational video content in a new viewing format 19

Master-class

A.S. Melkumov
Leo Tolstoy on the other side of stereo cinema 25

E. Artemov
How to learn photo composition. Part 6. Getting started with color 30

Pages of the history of cinema

O.N. Raev, G.V. Tikhomirova, K.K. Gudinov
Stages in the development of domestic science of filming equipment 37

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

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

Electronic version www.elibrary.ru

Subscription index Rospechat: № 81923

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

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

Certificate of Registration Media-PI № FS77-65712
May 13, 2016.

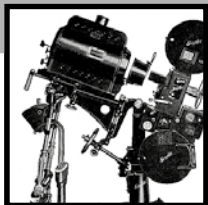
www.mtk-edition.ru,
e-mail: kevin@paradiz.ru,
tel.(fax): +7 (495)795-0297,795-0299

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
Ph.D. A. Peregudov, RF
Ph.D. O. Raev, VGIK, Moscow, 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.



КАК ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ НЕ ПОПАСТЬ В НЕЙРОСЕТИ КОМПЬЮТЕРА.

Искусственный интеллект в нейросетях для кино, телевидения и образования.



Поморин Иван Алексеевич, pomorini@gmail.com, оператор-постановщик, RGC, Россия

Портрет Ивана Поморина нарисован нейросетью

Аннотация

В этой статье автор попытался систематизировать свои знания о том, что же такое нейросеть, что нас ждёт завтра. Смогут ли нейросети полностью вторить ВСЁ от и до, и что тогда ожидает человечество в достаточно обозримом будущем?

Ключевые слова: нейросеть, интерфейс, искусственный интеллект, web.

■ «То, что нейросеть научилось рисовать – это ещё ничего, но нам всем стоит задуматься, что произойдет, когда её не примут в Венскую художественную академию».

На вопрос, что такое нейросеть, я бы ответил: это в первую очередь математическая модель, состоящая из большого количества простых процессов, которая была рождена как попытка описать работу человеческого мозга. Она может размещаться как в облаке, так и локально. Быть с большим количеством параметров, так и с малым. Обученная на большом количестве и высоком качестве данных, так и на малом количестве и низком качестве. Но самое главное, что она позволяет путем простых запросов человека сгенерировать тексты, изображения, звук, музыку или голос. Чем больше параметров, каче-

Abstract

In this article, the author tried to systematize his knowledge about what a neural network is, what awaits us tomorrow. Will neural networks be able to completely repeat everything inside and out, and what then awaits humanity in a fairly foreseeable future?

Keywords: neural network, interface, artificial intelligence, web.

ственнее данные и больший их объем был обработан ей, тем более «умная» она станет, а итоговый результат будет удивлять.

Системой обучения нейросети является «скармливание» данных и получение оптимизации обработки входных и выходных данных. Любопытно заметить, что именно обучение нейросети и является самым ресурсоемким процессом, потому что в нём происходит выработка «правильных» коэффициентов взаимосвязей, которое напрямую влияет на возможность заполнения даже отсутствующих, неполных или частично неверных данных.

Классификация нейронных сетей основана на задачах, с которыми они работают:

– многослойные нейронные сети, или перцептроны, обрабатывают числовые данные;

– свёрточные нейронные сети работают с изображениями;

– рекуррентные нейронные сети собирают и обрабатывают информацию, которая меняется с течением времени;

– генеративные нейронные сети создают контент – тексты, изображения.

Сегодня нейросети уже не фантастика из фильма «Терминатор», а самый настоящий наш сосед, а для ряда направлений уже и творческий конкурент.

Лично я наблюдал рост развития мощностей нейросетей параллельно с развитием ферм «майнинга» и думаю, это не случайное совпадение. Специалисты IT отрасли объясняют это просто, схожим набором операций.

Также с уверенностью можно утверждать, что за принцип работы машинной нейронной системы взяты многие до конца ещё не изученные принципы работы центральной нервной системы. На сегодняшний день в её изучение вкладываются колоссальные денежные средства по всему миру.

Одним из наших отечественных учёных, который занимается когнитивной наукой и работает с разработчиками искусственного интеллекта в России, является Татьяна Владимировна Черниговская. И, как она сама говорит, в этом направлении вопросов больше, чем ответов.

И майнинг, и работа нейро требуют работы сверхмногоядерных процессоров, которыми и оснащены видеокарты.

Вероятно, именно поэтому компания Nvidia одна из первых выпустила специализированное решение для обработки нейросетевых вычислений и ускорений алгоритмов ИИ и GPU.

Машинное обучение нейросетей построено на «Алгоритме обратного распространения ошибки». Конечно, во

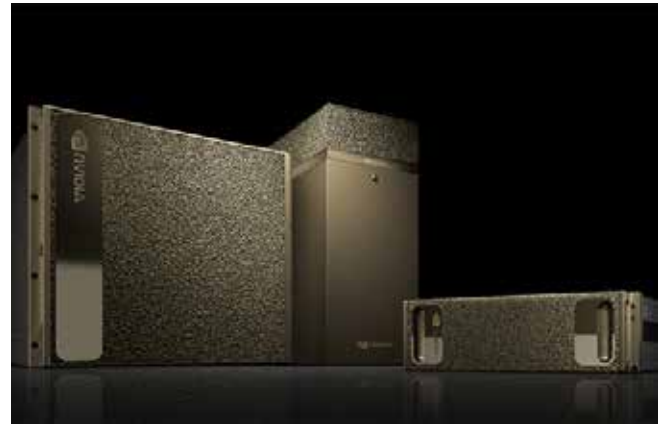


Рис. 2. Nvidia DGX Systems

<https://www.nvidia.com/en-us/data-center/dgx-systems/>
<https://becominghuman.ai/the-future-of-ai-gpt-3-vs-gpt-4-a-comparative-analysis-5ac525cb7ae1>

Но уже на сегодняшний день мощности нейросетей выросли в разы, поэтому, вероятно, настоящий нейросетевой бум нас ещё ждёт.

Возможно ли сейчас посчитать скорость развития нейросетей с помощью «Закона Мура» на который опирались в своё время Стив Джобс и Стив Возняк и благодаря которому смогли построить успешный бизнес-план своей компании Apple? Ответ на это вопрос я оставляю специалистам IT индустрии.

Совсем недавно появилась, так скажем, основа всех нейросетей – gpt4 на замену gpt3 с увеличенной производительностью. Производительность выше примерно в 571 раз, а визуально это можно оценить и понять по диаграмме рис. 4.

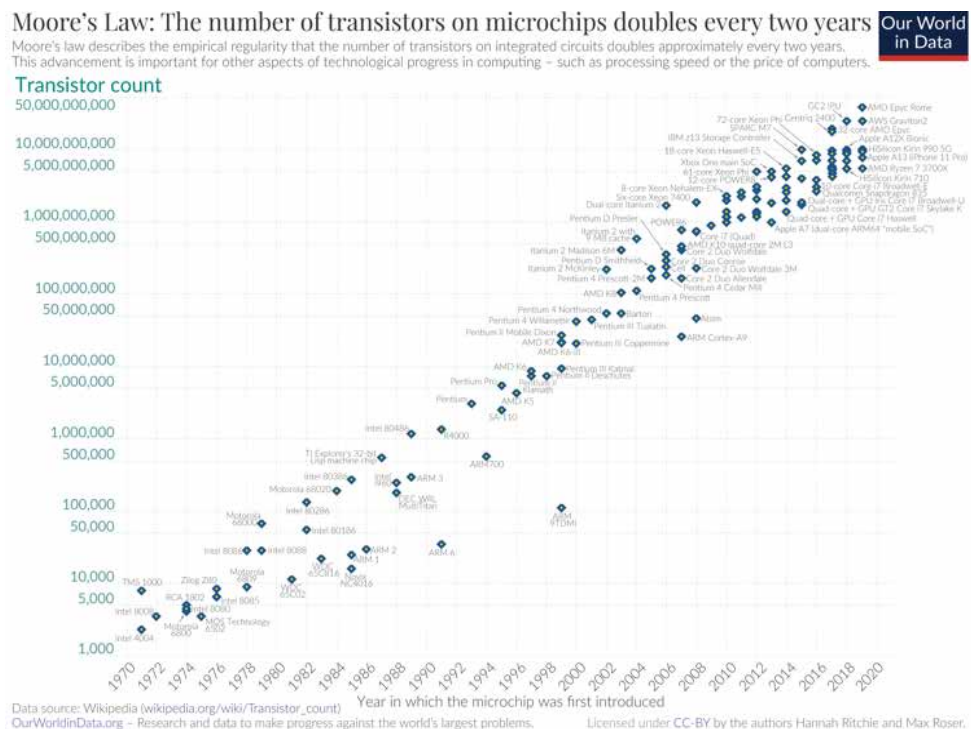


Рис. 3. Закон Мура. https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Мура

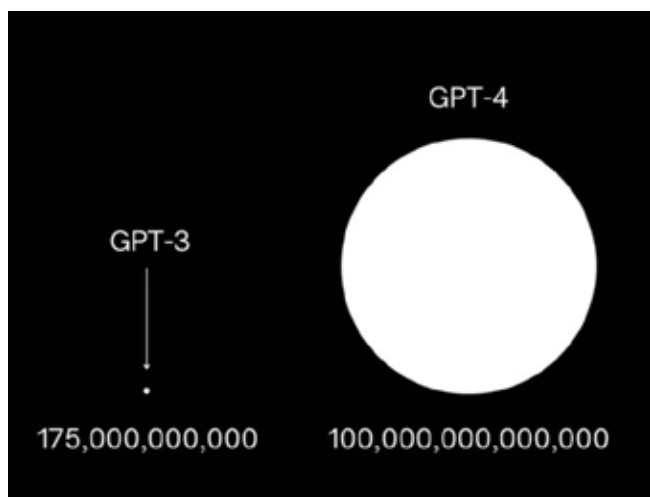


Рис. 4. Сравнение производительности архитектуры gpt3 и gpt4. <https://becominghuman.ai/the-future-of-ai-gpt-3-vs-gpt-4-a-comparative-analysis-5ac525cb7ae1>

От картины «Ирландец» режиссера Мартина Скорсезе, где омолаживали актёров Роберта Де Ниро и Аль Пачино. рис. 5.



Рис. 5. Омоложение Роберта Де Ниро в фильме режиссера Мартина Скорсезе «Ирландец» https://gameguru.ru/publication/akterov_irlandca_omolodili_s_pomoschyu_besplatnoy_programmy_poluchilos_luchshe_chem_u_netflix/

До воскрешения образа персонажа Жоржа Милославского ролике Сбербанка, которую сделала наша российская IT компания DeepCakedeercake.io

В моей практике был такой пример. В одном из проектов возникала необходимость доснять сцены с артистом, которого не стало в живых в процессе съёмок. Мы даже вели диалог с компанией «DeepCake» на эту тему, но наши продюсеры не были уверены в фотореалистичности результата, а может, не были уверены в бюджете, который понадобится на реализацию технологии «DeepFake» в рамках нашего проекта. Поэтому вопрос был закрыт изменением сценария и использованием сцен из предыдущих сезонов, снятых с участием данного актёра.

Вот другой пример из российской практики кинопроизводства – картина «Диверсант» где воскресили, и достаточно успешно, артиста Владислава Галкина..



Рис. 6. Воскрешение Владислава Галкина на экране при помощи нейросетей в фильме «Диверсант». <https://rg.ru/2022/05/09/ekspert-rasskazal-o-tom-kak-voskresili-galkina-dlia-filma-diversant.html>



Рис. 5. Жорж Милославский в реалии 2020 <https://www.banki.ru/news/lenta/?id=10937847>

Это всего лишь одна часть работы нейросетей сегодня на телевидении, в рекламе и кино.

И действительно, с технологией DeepFake абсолютно реалистично заменить лицо актёра, например, воскресив его. Что сейчас и собирается сделать на картине 7 самураев продюсер Константин Эрнст в римейке на фильм «Семь Самураев» 1954 г.

Воскресить, омолодить или полностью заменить лицо актёра. На это способны нейросети даже просто в рамках простых приложений на обычном смартфоне.

Частично процессы обработки происходят в облаке, а частично и в самом гаджете. Даже в Apple iPhone алгоритмы шумоподавления, обработки фотографий и видео лежат отчасти на замкнутой внутри гаджета нейросети.

Кстати, именно технология DeepFake заставила встрепетаться правозащитников, когда свидетельские показания в связи с пандемией разрешили принимать в видеформате. Что уже говорить о телевизионной и новостной хронике в массмедиа.

Даже я активно баловался такими приложениями, создавая как статичные фото мемы, так и видеопародии, и мемы для соцсетей, которые на ура в качестве развлекательного контента заходили для моей аудитории и даже студентам. К слову, о роли нейросетей в образовательном процессе.

В силу того, что молодое поколение сейчас «живёт» этим. Очень легко с ними общаться через мемы, сделанные при помощи нейронных сетей, и доносить информацию.



Рис. 8. Мем для студентов сгенерированный при помощи приложения FaceApp

Ещё одно удивительное качество нейросетей – пока сгенерированные ими изображения чаще всего не имеют авторского права. В результате их можно легко использовать в дизайне практически в любых аудиовизуальных произведениях, не переживая за то, что кто-то будет отстаивать свои авторские права. Однако я уверен, что такое благолепие будет длиться не бесконечно, и вско-



Рис. 7. Картинка нарисована нейросетью

ре у всего проявится свой хозяин и покровитель.

На момент написания этой статьи в США начинается критика и, можно сказать, возникает судебная практика использования голоса известного человека и принимается запрет на использования его голоса.

Вспомнил любопытный факт, что года 2 назад я начал активно пользоваться искусственным диктором Mail.RU. Это очень удобный инструмент, который позволял генерировать выбранного диктора в выбранной студии, задавая текст сообщения (до 1000 знаков изначально). Это очень экономило время и деньги. Не нужно было выставлять свет, ставить камеру, снимать студию, беспокоиться о записи

чистого звука и, в конце концов, не нужно было вызывать диктора. Из неудобств было всего лишь ожидание генерации видео, особенно если тебя что-то не устроило в паузах или при произношении слов, и ты пытаешься исправить это, поправляя исходный текст.

В кино сейчас очень часто реквизит генерирует случайные портреты, игровые фотографии, которые могут попадать в кадр. Это делается для того, чтобы можно было не вызывать специально артиста массовой сцены или настоящего актёра для фотографии.



Рис. 9. Виртуальный диктор Mail.RU https://dzen.ru/media/applespbevent/mailru-group-predstavila-platformu-diktor-s-virtualnymi-veduscimi-dlia-chtenia-novostei-5f0f4aa78ef16a31bc5b261d?utm_referer=www.google.com

Когда-то в картине «Амели» в сценах с фотобудкой это было очень большой проблемой. Я думаю, сейчас нейросети очень бы облегчили в прошлом весьма не простую задачу.

Кроме того, они активно используются в индустрии моды для генерации разных образов «людей» и одежды на них, с точки зрения, как она на них сидит.

Разумеется, при появлении технологии DeepFake и многие артисты «икнули» понимая, что у них может быть шанс потерять работу вообще. Но нейросеть не сможет, по крайней мере, пока сыграть те эмоции, которые должен передать персонаж. Пока это лишь инструмент, работающий по кальке живого алгоритма движения актёра.

Даже для того же воспроизведения Брюса Уиллиса в рекламе «Мегафон» был приглашён прекрасный актёр Константин Соловьёв, который и сыграл всё то, что нейросеть компании DeepSake заменила на образ Брюса Уиллиса.



Рис. 10. Кадр из рекламного ролика «Мегафон»
<https://www.kino-teatr.ru/lifestyle/news/y2021/8-16/25534/foto/225225/>

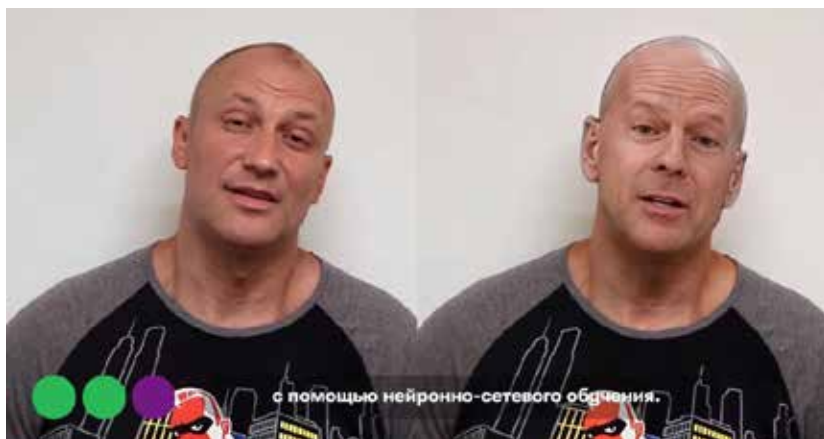


Рис. 11 Преобразование Константина Соловьёва в Брюса Уиллиса
<http://worldsmi.ru/wp-content/uploads/2022/09/6a8a32b4f10bfaa66dde90f743c9291d.jpg>



Рис. 12. Художник, именующий себя в соцсетях под ником Кир Sol, с помощью нейросети «очеловечил» российские города.
<https://kulturologia-ru.turbopages.org/kulturologia.ru/s/blogs/040323/55650/>

Мой друг, продюсер, режиссёр и актёр Саид Дашук – Нигматулин недавно снял целый проект, где они экономили на гримёре и мейк-ап артистам наводили при помощи искусственного интеллекта в DaVinciResolve.

Лично я не сторонник такого кардинального подхода и отмены работы целого человеческого цеха грима, однако, сейчас инструменты ретуши лица в постпродакшн действительно очень сильны. Главное, чтобы «исправим на poste» не превратилось в другие слова на постпродакшне, которые невозможно упомянуть по этическим соображениям в публичной научной статье. А также, чтобы вам и вашему продюсеру хватило время и денег в постпродакшн реализовать вверенные ему сложные задачи такой глобальной ретуши.

Говорят, сейчас уже есть плагины, позволяющие с актёра на актёр переносить не лицо, а только грим. И это тоже может быть очень интересной опцией развития нейросетей в кино и на ТВ.

Однако мой мастер Вадим Иванович Юсов нас учил: – «Это не ваша работа, за которую не вы получаете деньги. Сделайте по максимуму всё, что зависит от вас на площадке. Проявите всё то, чему вас учили мастера, а уж дальше уповайте на компьютерную графику, постпродакшн и искусственный интеллект».

Хотя при написании этих строк я сейчас понял, что многие нейросети по дружелюбности с режиссёрами, операторами и продюсерами могут серьёзно конкурировать со многими действующими работниками постпродакшн.

Нейросети сегодня достаточно успешно умеют систематизировать отснятый материал и даже монтировать его, опираясь на все классические правила монтажа. Такие возможности, можно сказать, просто необходимы, когда вы хотите собрать монтаж, скажем, с 300–400 мобильных телефонов, которые допустим, снимали на концерте, а так назовём горе-операторы будучи совсем неопытными в этом вопросе, включали запись на телефонах кто когда.

Частично в программе DaVinci Resolve можно использовать подбор схожих кадров для объединения в группу по цветокоррекции.

С появлением нейросети у творческих людей появилась возможность «очеловечить» объекты, например географические. Интересный тренд замечен в соцсетях. Художник под ником Кир Sol, с помощью искусственного интеллекта

рисует российские города в виде людей, точнее, их генерирует нейросеть.

Когда за профессиональную работу с нейросетями берутся художники и дизайнеры, которые знают, что они от неё хотят добиться, им на помощь приходят инструменты Inpainting и Outpainting. Они позволяют регенерировать часть области изображения, если вдруг получилась хорошая картинка, за исключением какой-то детали. В режиме Inpainting вы перерисовываете внутри выделенной области, а в режиме Outpainting вы перерисовываете за пределами области выделения. Что значительно ускоряет новые генерации и позволяет оставить частично понравившейся результат.

Говоря о том, что нейросети и искусственный интеллект создают картины, стоит выделить новую веху в живописи – нейрореализм. Но можно ли назвать эти картины, созданные по заказу и определённому шаблону, искусством?

Есть также идея называть нейрореализмом всё-таки творчество живых художников, но такую живопись, в которой сложно отличить руку человека от творчества нейросетей.

В ЯндексМузыке появились бесконечные треки Нейромузыка. Так компания называет композиции, сгенерированные нейросетью. Они индивидуальны для каждого пользователя и бесконечны.

Песня Lost от Linkin Park с вокалом Честера Бенningтона вышла в свет и была сопровождена вот таким клипом, кстати, сгенерированным с помощью нейросетей. Режиссировали его известные NFT-творцы Эмили Ян и Мацей Кучара. Рис. 14.

Кроме этого, нейросети научились прекрасно писать тексты. Или хотя бы давать фактуру. Некоторые мои знакомые признались, что иногда даже используют ChatGPT для написания рыбы сценария, а некоторые даже рискнули поздравлять с помощью этой нейронки дам с 8 марта в этом году, что вдохновило меня на написание данного стихотворения:

То ли бот стучится в двери,
Толи робот рядом спит,
Толи с сетки от нейронки
Сообщение мне летит.

Также нейронные сети используются многими режиссёрами и художниками для создания так называемых MoodBoard или по-русски референсов. Мне кажется, в таком формате это самый безобидный для творчества вариант. Подбирая референсы, мы всегда плагиатируем у кого-то исходные идеи и ориентиры. Почему бы не сплести их у компьютера, при этом не нарушая автор-



Рис. 13. <https://dzen.ru/a/YKJOctJntHVIODHQ>



Рис. 14. Lost от Linkin Park с вокалом Честера Бенningтона

ского права вообще. Плюс использование референсов из нейросети не исключает обращения и к привычным источникам гугления в сети Интернет, тем более всё это происходит на одном рабочем столе вашего компьютера.

Не так давно нейросеть сдала MBA и написала отличный диплом.

Искусственный интеллект сам даже уже снимает кино.

Вполне логичное развитие событий мира нейросетей, но всё равно удивительно: на Twitch идёт сериал watch mefo rever NOTHING, FOREVER уже второй сезон SEASON 2, который полностью генерируют нейросети. И реплики, и описания сцен, и озвучка, и сами изображения. За основу взят Сайнфелд, и все это задумывалось как бесконечный ситком. Рис. 15.

Конечно, выглядит сериал пока странно и даже местами абсурдно, но этот сериал уже сейчас посмотрело 8 тысяч человек. Хотя лично мне сложно назвать хорошими шутки, которые употребляет в нём искусственный интеллект.

В генерации изображений нейросетей по тексту есть что-то от сказки Пушкина о «Рыбаке и рыбке», где старик бесконечно кидает невод и запрашивает рыбку о новых задачах, а бабка всё недовольна и недовольна результатом. А старик делает всё новые и новые запросы к



Рис. 15. Из бесконечного ситкома сериала **watchmeforeverNOTHING, FOREVER**
<https://www.youtube.com/watch?v=M6mD9YzVbZI>

пучине морской. В результате остаются дед со старухой снова у разбитого корыта.

Я даже обнаружил компьютерный сленг сказке Пушкина.

“КЛИКНУЛ” дед золотую рыбку.

Ай да Пушкин, ай да сукин сын!

Примерно так и выглядят сейчас запросы пользователя к нейросети. Запросы для генерации являются сейчас единственным способом общения между пользователем и искусственным интеллектом.

Вывод

Мой опыт изучения нашей центральной нервной системы через психологию цвета привёл меня к выводу о том, что это не просто набор нейронов и нейронных связей, пускай и в умопомрачительных количествах. Наша центральная нервная система – это ещё и совокупность всех наших сенсорных систем так назовём ввод информации: зрения, слуха, обоняние, осязания, вкуса, вестибулярного аппарата. Также к этим чувствам я отношу отдельным элементом сознание – от подсознательного до сверхсознательного.

Все эти элементы при совместной работе и представляют нас как индивида. И, конечно, опираясь на подобное суждение, я могу утверждать, что только полноценно копирующая человеческую нейронную систему нейронная сеть будет способна на творческие результаты, подобные человеческому ресурсу.

По-прежнему человек является мерилем того, получился или не получился творческий результат у нейросети. И по-прежнему человек является эталонным мерилем того, как должен мыслить компьютер. Хотя многие творческие успехи современных нейросетей заставляют людей встрепенуться и проснуться.

Конечно, может быть это и не плохо, так как мы сейчас живём в то время, когда люди начали упрощать своё

обучение, меньше читать, меньше смотреть и меньше слушать действительно сложной литературы, музыки и прочих визуальных и аудиовизуальных произведений.

«Наш мозг – это то, что мы потребляем, как наше тело – это то, что мы едим» говорит Татьяна Черниговская. Опираясь на свой опыт изучения центральной нервной системы и межнейронных связей, я не могу с ней не согласиться.

А компьютерные нейросети становятся всё более творческими и поражают нас новыми достижениями и результатами в области живописи, музыки и даже литературы.

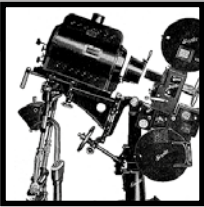
Мне кажется, именно сейчас у человечества появился очень хороший повод включить свою голову. Пожалуй, это будет главный мой тезис в сторону роли нейросетей в области образования, и, наверное, это будет лучший финальный вывод для завершения этой статьи. Рис. 16.



Рис. 16. Когда нейросеть попросили нарисовать автопортрет

Нейронная сеть одного человека насчитывает колоссальное количество нетронутых связей. А что уж говорить о коллективном человеческом разуме! Так давайте не будем разминивать данное нам чудо создателем на обратный процесс того, что Чарлз Дарвин назвал эволюцией. ■

P.S. Дочитав эту статью до конца вы уверены, что её написала не одна из нейронных сетей?



ФОТОНИКА ДЛЯ НЕЙРОМОРФНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ОПТИЧЕСКИХ РАЗРАБОТКАХ



Бирючинский С.Б., профессор, к.ф.-м.н., Vigitek Inc. (США), РФ

Аннотация

Рассмотрены некоторые ключевые особенности архитектуры и разновидности элементов фотоники для нейроморфных вычислителей, а также основные методы их проектирования. Рассмотрены также многие аспекты создания и перспективы развития систем искусственного интеллекта, в особенности его применения в оптических разработках и других отраслях. Приведены некоторые данные внедренных на практике систем фотоники, созданных автором данной статьи. Даны практические рекомендации по некоторым значимым направлениям в области нейроморфных вычислителей.

Ключевые слова: фотоника, искусственный интеллект, нейросеть, нейроморфное изобретение, изобретательская задача, объектив, абберрации, оптическая система, машинное зрение, литография, биомедицинская система, оптимизация, пропускная способность.

■ Моя борьба с несовершенством существующих оптических теорий началась в 1986 г., когда возникла потребность в поиске точного и оптимального решения для своего изобретенного зеркально-линзового объектива. В следующем году мной был разработан первый в мире четырехзеркальный светосильный объектив те-

PHOTONICS FOR NEUROMORPHIC COMPUTING AND THEIR APPLICATION IN OPTICAL DEVELOPMENT

Biryuchinskiy S., PhD, Prof., Vigitek Inc. (USA), RF

Abstract

Some key features of the architecture and types of photonic elements for neuromorphic computers, as well as the main methods for their design, are considered. Many aspects of the creation and development prospects of artificial intelligence systems are also considered, in particular its application in optical development and other industries. Some data of photonics systems implemented in practice, created by the author of this article, are given. Practical recommendations are given in some significant areas in the field of neuromorphic computers.

Keywords: Photonics, artificial intelligence, neural network, neuromorphic invention, inventive problem, lens, aberrations, optical system, machine vision, lithography, biomedical system, optimization, bandwidth.

лескопа (некоторые его варианты представлены, например, в [1]) и именно данная разработка во всех этапах её развития показала всю тупиковость пути развития так называемой "советской оптической школы", приведшей к стагнации данной отрасли. Так, например, ведущие отечественные оптики того времени (в том числе

профессор Русинов М.М.) публично высказывались о невозможности существования решения в предоставленной мной конфигурации. Одновременно с этим в мире усиливались тенденции к поискам дополнительных путей к существующим алгоритмам оптимизации оптических систем (в основном представленном методами Ньютоновской группы) и области их применения расширились на столько, что фактически вылилось в группу так называемых транс-функциональных решений, одинаково пригодных для применения в существенно различных отраслях.

Решением вопроса вышеуказанной проблемы стала разработка собственных алгоритмов поиска правильных решений (решений изобретательских задач в том числе, например, [2–7]), которые впоследствии были объединены в так называемую "теорию оптимальных оптических систем" [8]. С точки зрения прикладной математики и теории алгоритмов разработанный метод можно в некотором роде отнести к нейросетевым методам с перестраиваемой обучаемой архитектурой и нейроморфными вычислителями с переменной функцией активации (все это достаточно условно, т.к. для точной реализации требуется специализированная аппаратная часть которой нет, но для наших прикладных задач это не является большой проблемой). Естественно в данной работе не будут рассматриваться особенности разработанного алгоритма, а будут представлены (отчасти) результаты его работы, кроме того следует понимать что как и любой алгоритм любая методика является лишь инструментом, неспособным полностью заместить изобретательские способности если их нет.

Первые разработки по нейросетям появились еще в эпоху ламповых компьютеров и эволюция элементной и производственной базы позволила успешно развиваться обоим направлениям. Первые алгоритмы обучения нейросетей были представлены еще в 1949 г, а в 1960 г., в Корнеллском университете (США) продемонстрирован первый в мире нейрокомпьютер (MARK 1), основной задачей которого было распознавание образов. Развитие данного направления шло настолько успешно, что уже всего через пару десятилетий стала понятна категорическая необходимость внедрения в данные технологии различных элементов фотоники, а также развитие и совершенствование оптических приборов для создания новой элементной базы вычислителей. В процессе разработки элементов фотоники стало понятно что в некоторых случаях могут быть применены наработки и практические решения например, из биомедицинской отрасли. В частности архитектуры оптических систем различного рода осветителей, формирователей профиля лазерного пучка, а также различные фокусирующие системы.

На рис. 1. показаны запатентованные (см, например, [2,3]) оконечные устройства некоторых биомедицинских систем косметологического применения, оптические части которых были разработаны автором данной статьи (работы по данному направлению велись с 1996г.



Рис. 1. Некоторые элементы фотоники биомедицинского применения, разработанные автором для компании Palomar Medical (США).

и частично опубликованы в диссертационной работе) с применением нейроморфных технологий (для компании Palomar Medical (США)). Реализованные архитектуры оптических систем оказались настолько удачными что мировой оборот устройств рис. 1 превысил 1 млрд. долл. США, став самой узнаваемой и успешной маркой в мире по данному направлению (в настоящее время компании Palomar Medical не существует, однако представленные приборы можно до сих пор найти на вторичном рынке и существуют отдельные мелкие компании производящие запасные части к ним). Сам по себе нейроморфный вычислитель для данного проекта имел программную реализацию а нейросеть строилась на базе трех компьютеров различной производительности (в последствии появилась возможность реализации всей процедуры в рамках одного компьютера) объединенных протоколом TCP/IP. Непосредственно сами расчеты оптических систем велись по собственным программным пакетам позволяющим работать с осветителями произвольной формы в трех измерениях, с динамической перестройкой вычисляемой оптической структуры в процессе оптимизации.

С точки зрения применимости подобной разработки то ее способность по созданию равномерно освещенных участков, в том числе, в рассеивающих средах и на заданной глубине, может быть непосредственно использована как элемент фотоники, активирующий нейроморфный вычислитель. Другое применение - это элементы литографического процесса для создания тех же элементов фотоники, полупроводниковыхборок и т.д. Здесь в работу могут пойти варианты как с ламповым так и с лазерным источником излучения, а также с различными интегрирующими и фильтрующими системами (в том числе с принудительным охлаждением области светового воздействия с отведением тепла непосредственно средствами прибора).

Другая группа оптических устройств, результат работы которых представлен на рис. 2 и рис. 3 и пригодная для нужд нейроморфных вычислителей с элементами фотоники создавалась соответственно для целей

резки алмазов (рис. 2) и дробления почечных камней (рис. 3). В первом случае мы видим особенность фокального пятна, которая позволяет реализовать метастабильное состояние в нейроморфном вычислителе, причем многоуровневое (при соответствующей модификации). Интересно отметить что для разработки архитектуры этой оптической системы был также применен нейроморфный вычислитель, таким образом мы видим возможность производить разработки нейросетями для улучшения нейросетей. Система рис. 3 с кольцевым пятном от лазерного источника может применяться и как элемент активации оптического переключателя и как элемент для некоторых специфичных процессов литографии (радиационной обработки). Естественно, что

рассмотренные системы являются лишь базовыми вариантами (отправными точками) для вышеуказанных применений в нейросетях и в финальной реализации будут иметь совсем другой вид и габариты (с сохранением общей концепции преобразования лазерного пучка).

На рис. 4 показан комплексный элемент фотоники высокой мощности, разработанный автором для лазерной сварки кровеносных сосудов (подобное было реализовано впервые в мире) и прочих применений, по заказу компании Vigitek Inc. (США). На рисунке можно видеть оконечную часть прибора, представленного в данном случае лабораторной моделью не требующей принудительного охлаждения (по понятным причинам не называются многие технические характеристики), корпус системы подво-

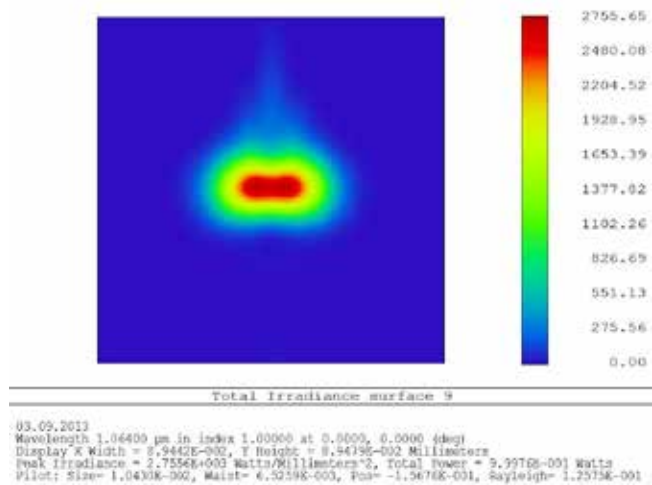


Рис. 2. Результат работы элемента фотоники, разработанного автором для лазерной обработки алмазов, для компании Vigitek Inc. (США).



Рис. 4. Комплексный элемент фотоники высокой мощности, разработанный автором для лазерной сварки кровеносных сосудов и прочих применений, по заказу компании Vigitek Inc. (США).

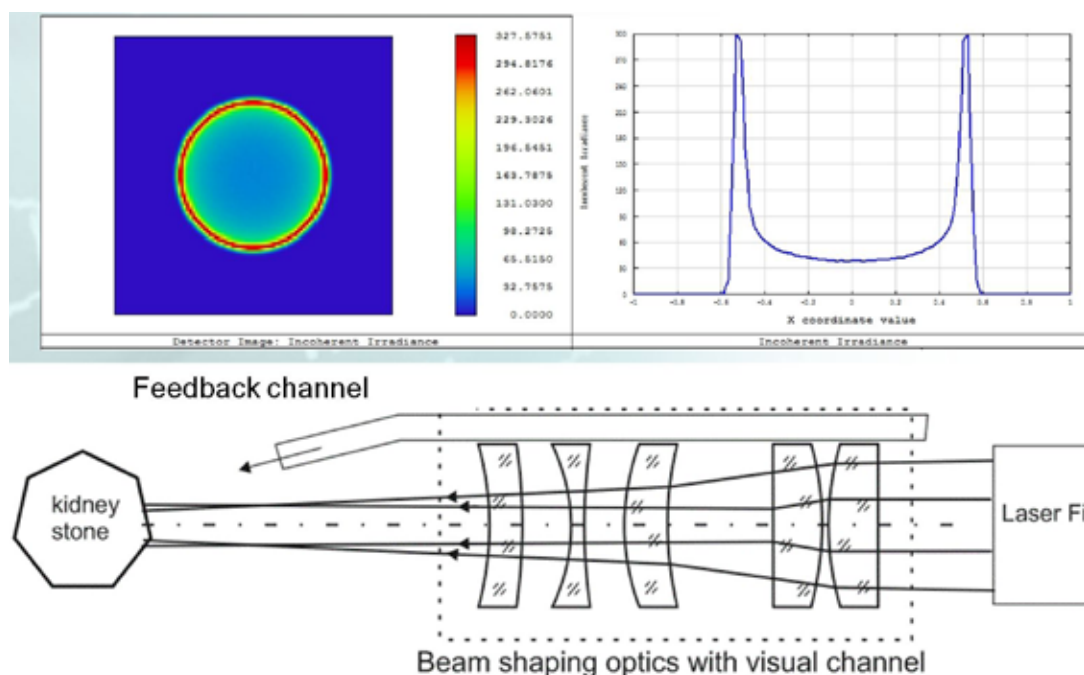


Рис. 3. Результат работы элемента фотоники высокой мощности, разработанного автором для дробления почечных камней, по заказу компании Vigitek Inc. (США).

да излучения, а также (слева вверху) результат работы в виде правильно сформированного сварочного шва на кровеносном сосуде. По результатам испытаний данный сварочный шов выдержал нагрузку давлением порядка 1000 мм Hg, что значительно превосходит требования на хирургические швы подобного назначения. С точки зрения применения подобного устройства в элементах нейросетей то размещение в зоне светового воздействия специального элемента (здесь также возможны различные варианты на базе как полупроводниковых, так и органических технологий) превращает данный прибор в мультистабильную нейроморфную ячейку с различными вариациями по входу-выходу, причем сама оптическая часть прибора не претерпит существенных изменений в зависимости от требуемого результата. Возможна также интеграция подобного решения в одну большую сборку, например, для скоростных матричных вычислений (вариант конвейерной схемы), задач распознавания образа с целью принятия решения "на лету" и т.д. Естественно возможны решения с тремя и более оптическими блоками, работающими на общий мультистабильный элемент (в том числе несимметричные решения).

Практически все современные нейросети имеют многослойную структуру (deep neural network – DNN), специализируются на каком то определенном круге задач и требуют больших затрат на их обучение (вычислительная мощность, затрачиваемая на обучение удваивается примерно каждые 3.5 месяца). Аппаратная реализация таких нейросетей также весьма разнообразна и может включать в себя различные графические (GPU) процессоры в сочетании с матричными вычислителями (tensor processing unit – TPU) и прочими элементами обвязки, в том числе высокоскоростными устройствами ввода/вывода. В [9] показана одна из возможных реализаций идеи объединения элементов фотоники с нейроморфным вычислителем. Вариант интеграции электрооптических блоков для нейроморфного фотонного процессора с возможностями матричного умножителя показан на рис. 5 (SiPho computing engine). Представленный модуль может работать на частоте 50 ГГц, содержит два цифро-аналоговых преобразователя, массив, аналого-цифро-

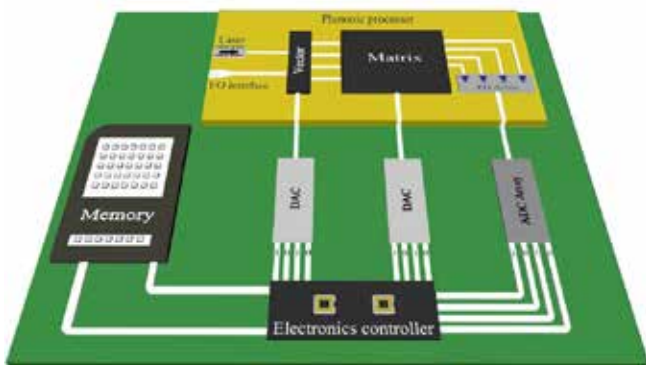


Рис. 5. Интеграция электрооптических блоков для нейроморфного фотонного процессора с возможностями матричного умножителя.

вых преобразователей, два входа на фотонном ускорителе (здесь следует понимать ускоритель вычислительного процесса, и в связи с особенностью русского языка и отсталостью нашей микро-индустрии подходящих терминов в нашем языке часто не находится), SiGe электрооптические модуляторы и прочее.

2:1 аппаратная реализация 5:1 нейрона в три фазы показана на рис. 6. Здесь реализована линейная суммация пяти-аксон нейронов. Это соответствует скалярному произведению между вектор-строкой 1×5 , содержащий веса нейрона и вектор-столбцом 5×1 , который включает входные значения, выполненные за счет использования векторных плиток строк и столбцов 1×2 и 2×1 , соответственно. Пяти входной нейрон развернут в четыре 2:1 виртуальных нейрона, операции линейного суммирования которых могут выполняться в течение трех фаз (в действительности процесс сложнее).

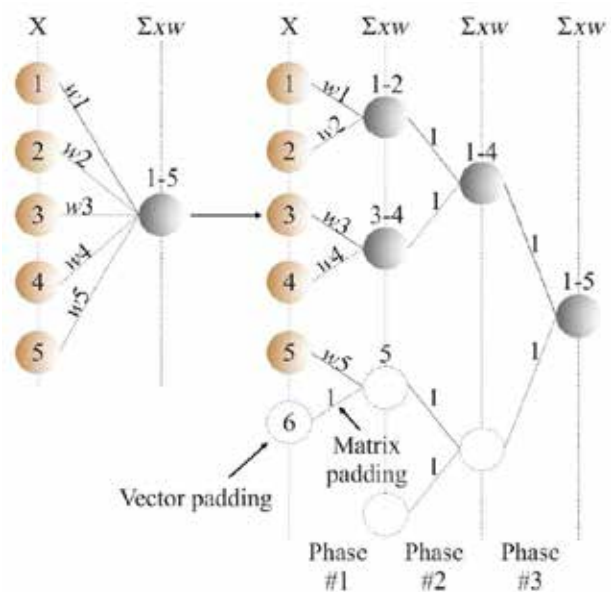


Рис. 6. 2:1 аппаратная реализация 5:1 нейрона в три фазы.

Фотография интегрированного когерентного оптического линейного нейрона сверху под микроскопом показана на рис. 7а. Элементарная вычислительная ячейка заключена в красный прямоугольник. На вставке, реализация 2-входного нейрона в чипе SiPho. Данный прибор делает высокоскоростную обработку входных данных и весовых элементов. Чип SiPho включает в себя согласованную нейроморфную архитектуру, которая реализует COLN (когерентный линейный нейрон) с двумя входами, способный выполнять многократное накопление (MAC) операций (взвешенное суммирование входных данных). Он содержит в своем составе интерферометр Маха-Цендера (MZI) с дополнительной смещающей ветвью, которая позволяет обеспечить сохранение знака взвешенного суммирования. Экспериментальная установка и визуализация чипа SiPho показаны на рис. 7б. В частности, SiPho процессор состоит из пяти компактных и широкополосных SiGe EAM (электро-поглощающие мо-

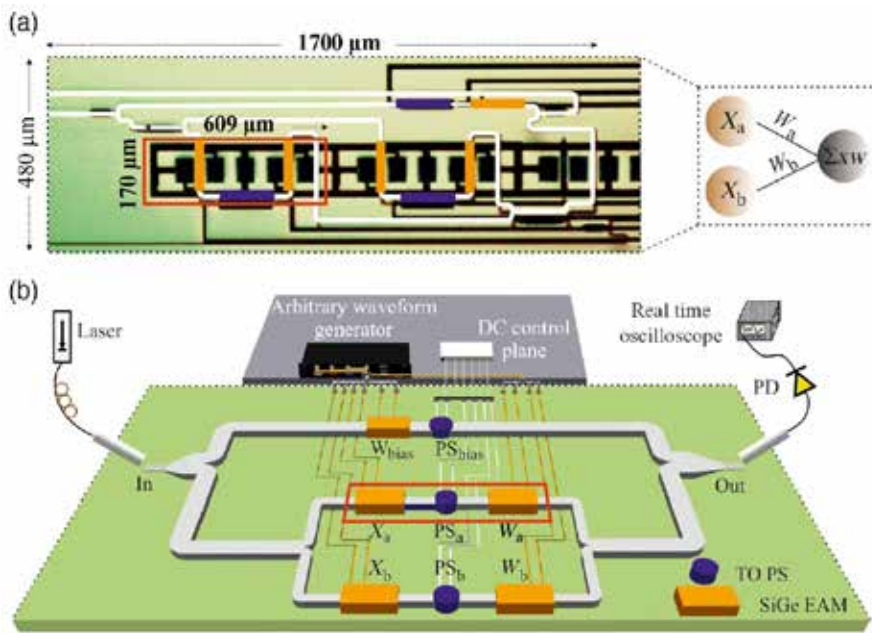


Рис. 7. а) Фотография интегрированного когерентного оптического линейного нейрона сверху под микроскопом. Элементарная вычислительная ячейка заключена в красный прямоугольник. На вставке, реализация 2-входного нейрона в чипе SiPho. (б) Экспериментальная установка и визуализация чипа SiPho.

дуляторы – оранжевые прямоугольники) с двумя EAM, используемыми в каскаде на каждую ветвь MZI для ввода данных и веса на чипе, соответственно, и один EAM, используемый в ветви смещения. Выбор SiGe EAM обеспечивает высокую скорость вычислений, при сохранении низких значений энергопотребления и малой занимаемой площади. Прототип данного чипа был изготовлен и продемонстрировал полное соответствие заявленным характеристикам.

Изначально процесс разработки нейросетей (не всех!) был завязан на понимании архитектуры головного мозга человека и отдельных его нейронов в частности. И по этой причине с целью лучшего понимания алгоритмов работы нейросети мозга человека параллельно развивалось исследовательское направление в нейрофизиологии вплоть до субмикронного уровня изучения работы отдельных элементов нейрона. Основная сложность в подобных исследованиях заключается во взаимодействии с объектом исследования в результате которого сам объект портится, и основной (пока еще не решенный) вопрос заключается в том существуют ли фундаментальные ограничения на съем необходимой информации (при этом требуются гарантии подлинности снятой информации и тогда разрушение предмета копирования станет гораздо менее значимым).

Упрощенно элементарный нейрон можно представить как некоторую нелинейную функцию (функция активации или передаточная функция) от единственного аргумента – линейной комбинации всех входных сигналов. Функция активации в общем случае может быть любой, в том числе быть зависимой от входных данных (последнее реализовано при разработке приборов рис. 1).

Не менее значимой в нейросетях является проблема когерентности памяти (см., например, [11]). В общем случае память нейрокомпьютера не обязана быть полностью когерентной, но только в том случае если так задумано алгоритмом, а с учетом габаритов и разнесенности отдельных его блоков этому вопросу следует уделять внимание из-за возможных нестабильностей, при этом не забывая об общей производительности вычислителя.

Существуют различные методы визуализации различных процессов в живом нейроне. Среди них следует отметить методы визуализации движения ионов кальция и съем электрических потенциалов. Три проблемы делают визуализацию напряжения более сложной, чем визуализацию кальция (рис. 8). Во-первых, более быстрая внутренняя кинетика ограничивает

период интегрирования фотонов. во-вторых, индикаторы напряжения должны лежать в мембране или ухудшать сигнал; это ограничивает объем индикаторов, которые можно интегрировать для измерения сигнала. Наконец, мембраны, через которые возникает сигнал, плотно упакованы в головном мозге; флуоресцентные сигналы от перекрывающихся мембран вымывают сигналы одиночных клеток [10].

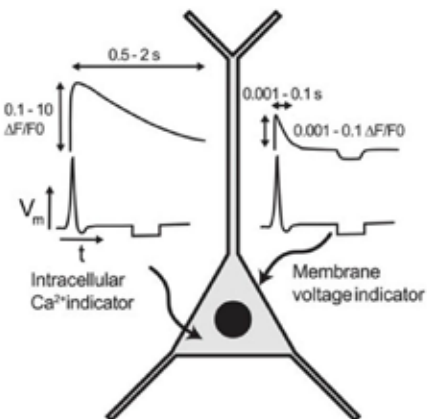


Рис. 8. К вопросу о проблемах визуализации напряжения мозговых нейронов.

На рис. 9 показан результат измерения кальция по технологии сканирования сфокусированным пучком Бесселя (нижний рисунок) и сравнение с пучком Гаусса (верхний рисунок). Метод [10] применяется для повышения пропускной способности визуализации и при этом сохраняется синаптическое поперечное разрешение при визуализации кальция нейритов GCaMP6s+ (на рисунке

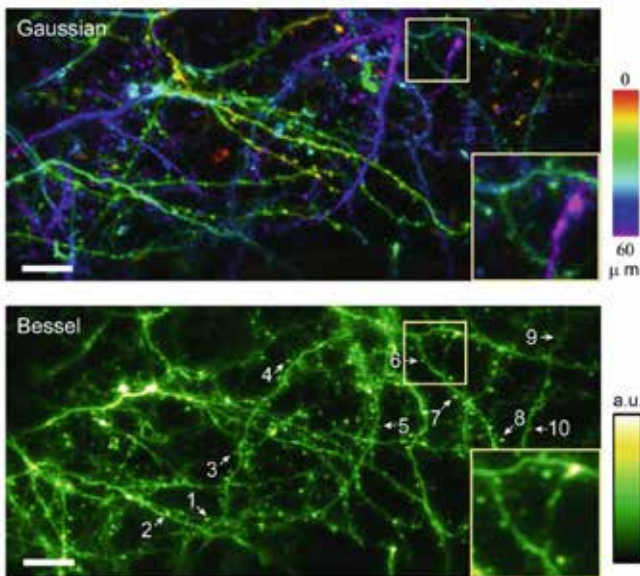


Рис. 9. Технология сканирования сфокусированным пучком Бесселя для повышения пропускной способности визуализации, сохраняя синаптическое латеральное разрешение при визуализации кальция нейритов GCaMP6s+ в бодрствующем мозге мыши *in vivo*.

показано исследование для бодрствующего мозга мыши *in vivo*). С учётом предъявляемых требований для решения данных задач можно применить широчайший спектр оптических разработок из других отраслей практически без их изменений (например, [7,8]).

К настоящему времени в мире существует множество компаний внедряющих на практике элементы фотоники в вычислительные устройства. Так например, на рис. 10 показана структура многопроцессорной сборки с оптической передачей данных (IBM). Подобная структура сборки достаточно универсальна и может применяться в вычислительных системах различной архитектуры. Основной сложностью в проектировании подобных изделий является интеграция приемо-передающих каналов в рамки существующих технологических процессов производства микроэлектроники, что определяет конечную себестоимость изделия как одну из основных характеристик. Другими сложностями являются ограничения

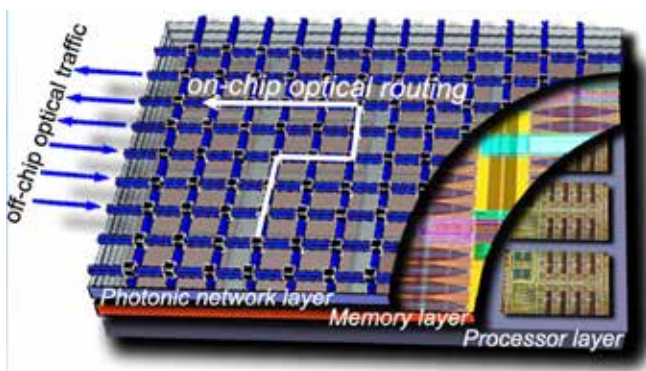


Рис. 10. Структура многопроцессорной сборки с оптической передачей данных (IBM).

на степень интеграции для элементов фотоники и ограниченность применимых материалов. Наивысшая (для заданной длины волны) степень интеграции планарных волноводных элементов продемонстрирована на рис. 11.

Более простым в реализации но очень актуальным является направление создания и возможной унификации (по крайней мере в пределах одного проекта вычислителя) оптических соединителей печатных плат (PCB). На рис. 12. показаны образцы PCB с оптическими волоконными элементами (IBM). Нечто похожее на рис. 12 было реализовано автором данной статьи в проекте носимой миниатюрной лазерной системы дополненной реальности.

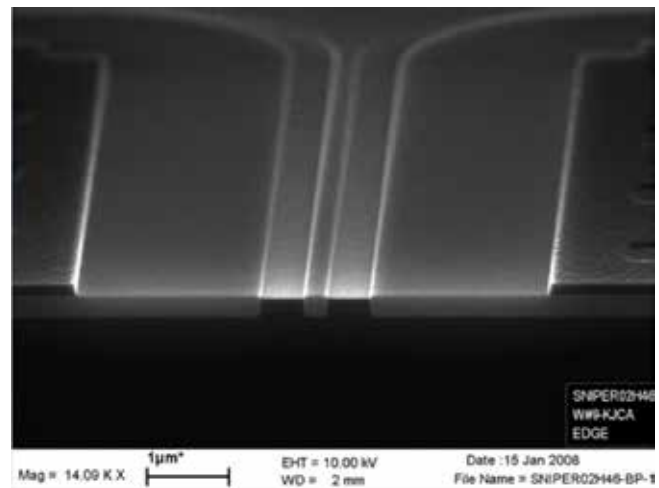


Рис. 11. Планарный оптический волновод (IBM).

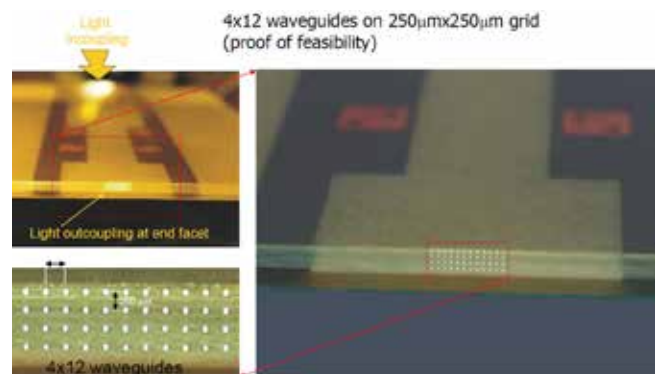


Рис. 12. PCB с оптическими волоконными элементами (IBM).

На рис. 13 показана тестовая система контроля (макетная плата) микропроцессоров и экспериментальный многофункциональный микропроцессор (на картинке расположен в центре платы), пригодный для применения в составе перспективных нейронных сетей. Данный процессор разработан и изготовлен на фабрике в Южной Корее ведущим разработчиком электроники в нашей команде [12, первый автор] Чураевым Сергеем Олеговичем (Ph.D., Республика Беларусь). Данный процессор является многофункциональным и содержит в своем составе времяцифровые преобразователи, измерители задержек, позволяющие проводить измерения с пикосекундной точностью и т.д. Демонстрируемый процессор



Рис. 13. Тестовая система контроля (макетная плата) микропроцессоров и экспериментальный многофункциональный микропроцессор, пригодный для перспективных нейронных сетей.

реализован по 120 нм технологии и полностью решил все поставленные перед ним задачи. Для организации оптического канала передачи данных была предложена система, показанная на рис. 14. Представленная система проста в реализации и обеспечивает все необходимые потребности в оптической передаче данных между ядрами процессора. Простота реализации данной схемы была обусловлена применением штатных, серийно изготавливаемых бескорпусных компонентов, интегрированных в волновод методом радиационного нагрева.

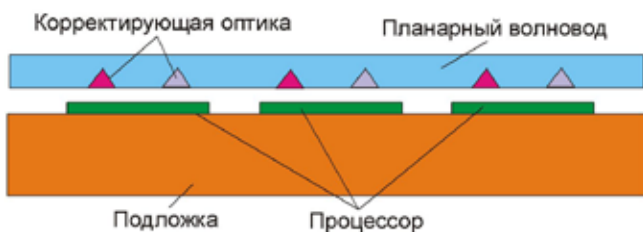


Рис. 14. Вариант простейшей реализации канала оптической передачи данных между процессорными ядрами.

Разработка вышеуказанного процессора была бы невозможной без существования литографических машин с необходимым уровнем себестоимости технологического процесса. Одним из ключевых компонентов литографической машины является проекционный объектив [13] передающий изображение фотошаблона на засвечиваемую подложку. Один из вариантов литографического объектива (365нм), разработанного автором для компании ASML (Нидерланды) показан на рис. 15. Здесь показан вариант схемы с числовой апертурой 0.4 и диаметром поля зрения в пространстве предметов 110 мм. Особенностью данной архитектуры оптической системы являются сверхнизкие значения aberrаций (в том числе и хроматизма, см рис. 16), в особенности дисторсии (рис. 17), по всему полю, без применения асферических компонентов (в финальном варианте они конечно же

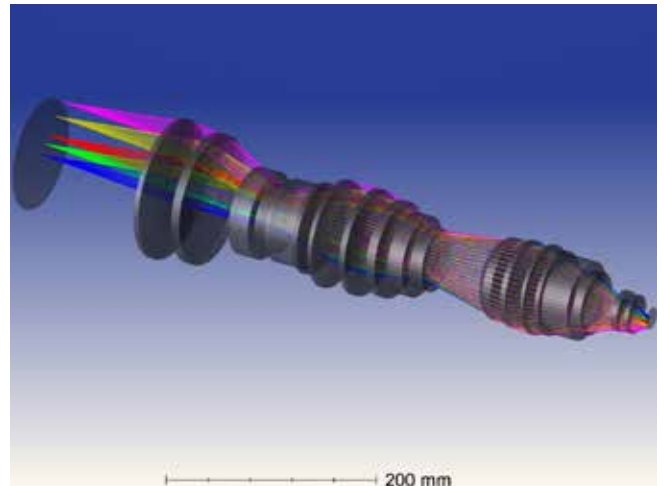


Рис. 15. Вариант литографического объектива (365 нм), разработанный автором для компании ASML (Нидерланды).

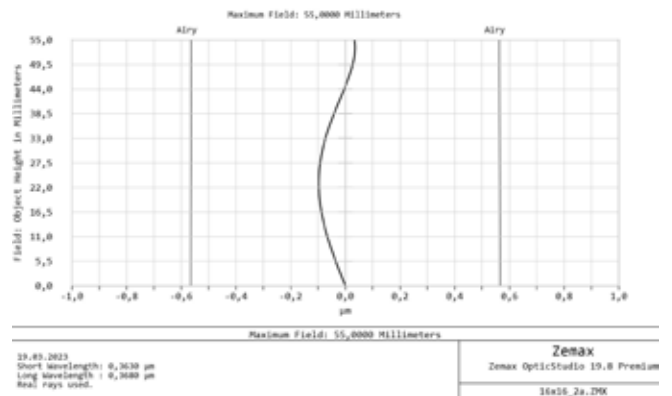


Рис. 16. Хроматизм увеличения объектива рис. 15.

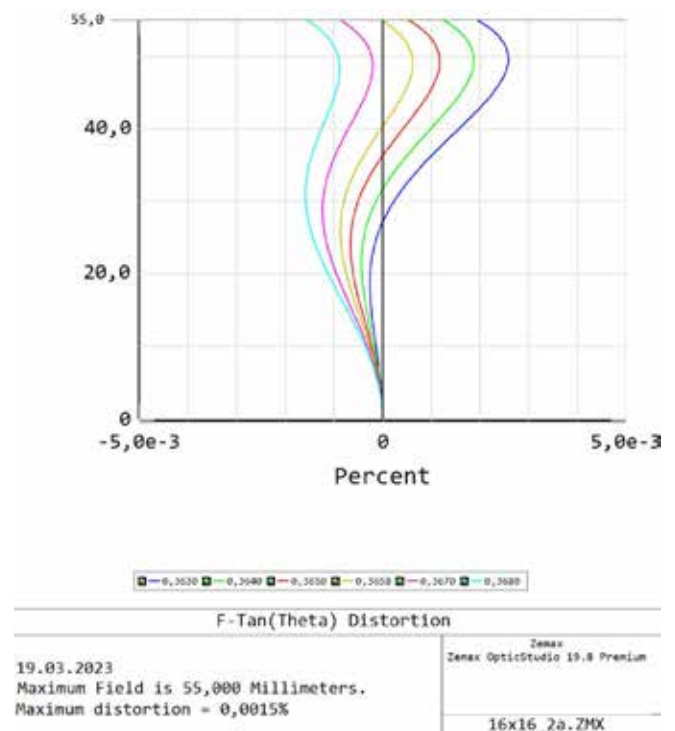


Рис. 17. Дисторсия объектива рис. 15.

есть но описание их назначения выходит за рамки данной статьи). Число Штреля превышает 0.9 по всему полю. Могут быть разработаны также варианты системы с числовой апертурой превышающей 1 (иммерсионные системы).

Также для задач литографии могут применяться технические решения из такой отрасли медицины как офтальмология (системы коррекции роговицы глаза). На рис. 18 показан вариант исполнения такой системы рассчитанный автором данной статьи (с применением нейросетевого компонента для оптимизации) для включения в состав отечественной офтальмологической системы «Олимп-2000» (г. Троицк). Устройство

содержит 193 нм ArF эксимерный лазер (CL-5000) с энергией генерации около 30 мДж, оптическую систему формирования лазерного пучка с заданным профилем и механизм сканирования. Особенностью данного эксимерного лазера (как и ему подобных) является крайне неудачная амплитудно-пространственная характеристика лазерного пучка. Пример распределения показан на рис. 19. Соотношение расходимости пучка вдоль осей X и Y не пропорционально геометрическим параметрам профиля поперечного сечения, что делает задачу преобразования весьма трудной. После системы формирования пятно имеет круглую форму и квази-гауссов профиль распределения энергии. Диаметр пятна составляет от 1 до 1.5 мм, при этом, плотность энергии в пятне составляет 1.5–2 мДж/мм². К настоящему времени на установке «Олимп-2000» закончены клинические испытания, в ходе которых прооперировано около 200 глаз разных видов аномалий рефракции. Получены положительные заключения ведущих офтальмологических клиник Российской Федерации: МНТК Хирургии глаза (филиал, г. Санкт-Петербург), МНТК Хирургии глаза (г. Москва), Институт им. Геймгольца (г. Москва), Медицинская Академия (г. Ярославль).

В качестве примера на рис. 20 показаны результаты тестирования системы "NIDEK EC-5000" (Япония, рис. 20а) и «Олимп-2000» (рис. 20б). Предварительно данными установками изготавливались пробные линзы из полиметилметакрилата, затем в свете гелий-неонового лазера (632,8 нм) проверялись их фокусирующие способности. Из рис. 20 видно что несмотря на изначально более лучше качество исходного лазерного пучка в установке "NIDEK EC-5000" на нашей установке благодаря грамотно рассчитанным оптическим элементам удалось добиться значительно более лучшего результата (и это несмотря на наш гораздо более дешевый лазер с худшим пятном). Подобный пример показывает всю значи-

Метод формирования профиля пучка эксимерного лазерного излучения

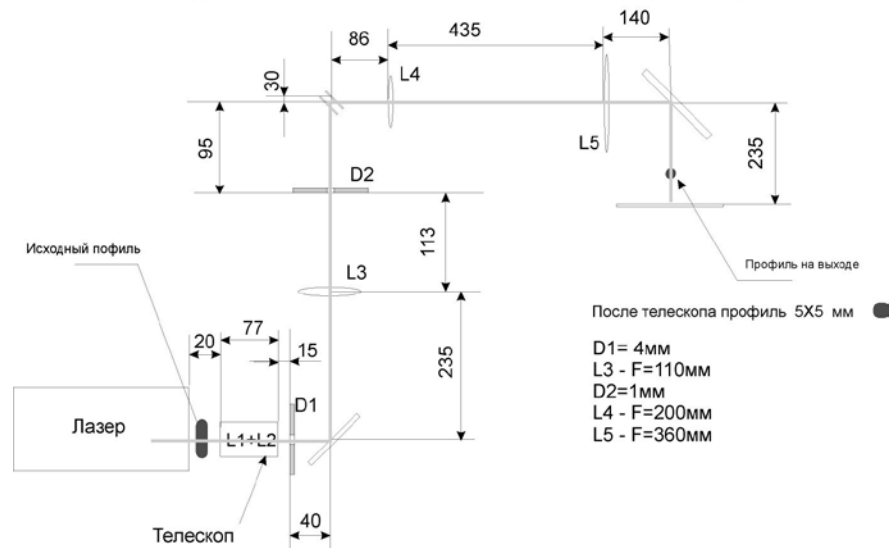


Рис. 18. Оптическая система формирования пучка эксимерного лазера (193 нм) с заданным профилем и механизмом сканирования.

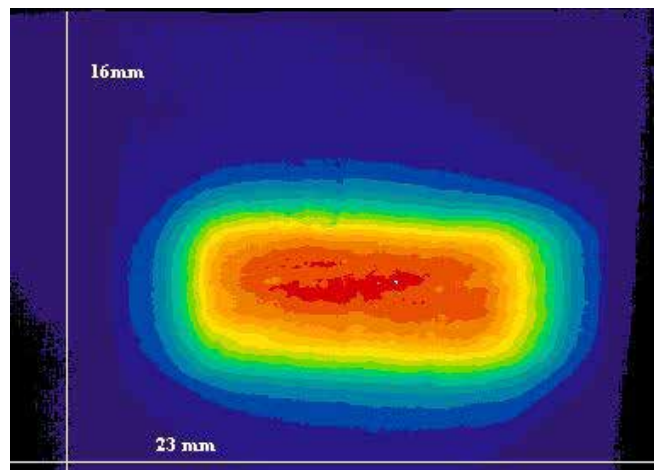


Рис. 19. Профиль пучка излучения (ближняя зона) на выходе эксимерного лазера CL-5000.

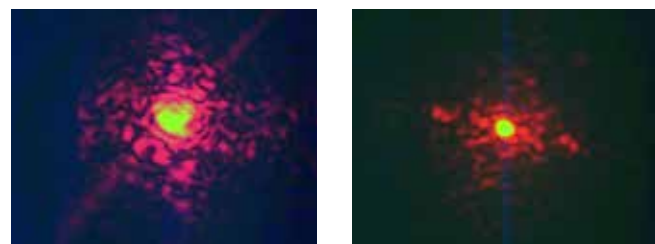


Рис. 20. Профиль пятна фокусировки гелий-неонового лазера полиметилметакрилатной линзой, созданной системой "NIDEK EC-5000" (а) и "Олимп-2000" (б).

мость выбора правильного алгоритма оптимизации и его применимости.

Элементы фотоники позволяют реализовать не только классические блоки вычислителей, работающие в двоичном коде, но и более сложные системы (десятичный вычислитель, вычислитель с нечеткой логикой и т.д.). Один из вариантов такой системы представлен на рис. 21. Три планарных волновода (1–3) с более

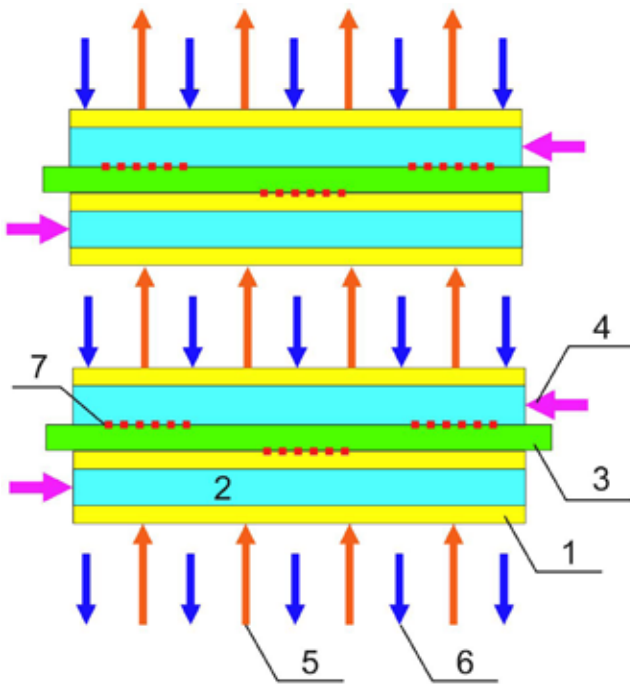


Рис. 21. Концепция элемента фотоники многогистерезисного нейроморфного вычислителя.

толстой центральной частью (2) образуют систему передачи несущей волны (4) с искусственно вызванной нестабильностью для модуляции потока ввода/выво-

да (5–6) посредством управляемого дифракционного элемента 7. Похожий на 7 элемент был известен ранее и применялся в качестве пространственного модулятора в системе развертки лазерного пучка для телевизионного экрана. И если его гистерезисные свойства в проекте с лазерным дисплеем были проблемой, то здесь наоборот их можно обратить в средство решения поставленной задачи. На рис. 21 представлена лишь так сказать "альфа" версия продукта и конечный вариант (если он состоится) будет иметь существенные функциональные отличия.

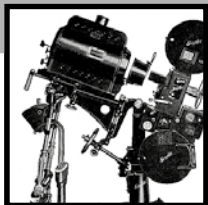
Заключение

Современные элементы фотоники не могут полностью заменить существующие полупроводниковые компоненты и это связано с ограничениями по степени интеграции в том числе. Но в связке с ними позволяют преодолеть некоторые существующие барьеры в электронной отрасли, в особенности, когда речь идет о шумах, паразитных наводках, тактировании и т.д.

Автор выражает благодарность одному из ведущих оптических разработчиков США доктору Барри Джонсону (Dr. R. Barry Johnson, Alabama A&M University) за формирование правильного пути в моей изобретательской деятельности, позволившей внести вклад в создание множества приборов и устройств, нашедших применение практически на всех континентах. ■

ЛИТЕРАТУРА:

1. Biryuchinskiy S, Churayev S, Jeong Y. Compact Optical Systems for Space Applications. J. Space Technol. Appl. 2021;1(1):104-120. <https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.1.104>
2. Патент США US6997923, Publication date : 2006-02-14. Anderson R Rox; Altshuler Gregory B; Manstein Dieter; Biruchinsky Sergey B; Erofeev Andrei V Method and apparatus for EMR treatment.
3. Патент Израиль IL157684(D0), Publication date : 2004-04-28, Altshuler Gregory B, Inochkin Mikhail, Khramov Valery Yu, Biruchinsky Sergey B, Erofeev Andrei V, Belikov Andrei V; Apparatus and method for photocosmetic and photodermatological treatment.
4. Патент Респ. Корея: KR100649762(B1), 2006.
5. Патент Респ. Корея: KR20070065486(A), 2007.
6. Патент Респ. Корея: KR100714581(B1), 2007.
7. Патент РФ, RU184163U1, 17.10.2018 Бирючинский С.Б. Устройство для фотообработки биотканей человека.
8. Бирючинский С.Б. Моделирование и оптимизация архитектуры оптических систем для современного кинематографа // Мир Техники Кино. – 2015. – № 37.
9. George Giamougiannis, Apostolos Tsakyridis, Miltiadis Moralis-Pegios, George Mourgiyas-Alexandris, Angelina R. Totovic, George Dabos, Manos Kirtas, Nikolaos Passalis, Anastasios Tefas, Dimitrios Kalavrouziotis, Dimitris Syryvelis, Paraskevas Bakopoulos, Elad Mentovich, David Lazovsky, and Nikos Pleros "Neuromorphic silicon photonics with 50 GHz tiled matrix multiplication for deep-learning applications," Advanced Photonics 5(1), 016004 (1 February 2023). <https://doi.org/10.1117/1.AP.5.1.016004>
10. Eirini Papagiakoumou, All-Optical Methods to Study Neuronal Function, ISBN 978-1-0716-2763-1, 21 February 2023, <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2764-8>, 418p.
11. Li, Kai; Hudak, Paul. Memory coherence in shared virtual memory systems// Журнал «Transactions on Computer Systems». – ACM, 1989. – November (т. 7, № 4). – С. 321–359. – doi:10.1145/75104.75105.
12. Churayev S., Biryuchinskiy S., Melnikov K., Paltashev T. Phase shift accumulation method for timing characterization // Proc. IEEE 2nd Intern. Conf. on Photonics (ICP). 2011. P. 1–5.
13. Бирючинский С.Б. Проекционные оптические системы для литографии// Мир Техники Кино. – 2013. – № 4(30).



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ



Л.С. Тихонова, к.т.н., СПбГИКиТ, Россия

Аннотация

Предложено схемотехническое решение устройства, имитирующего входной импеданс головки громкоговорителя, помещаемой в различные виды акустического оформления, такие как закрытый корпус с фазоинвертором, закрытый корпус, закрытый корпус с пассивным излучателем и рупор. Приведены результаты моделирования отдельных частей устройства, относящихся к имитации различных акустических оформлений.

Ключевые слова: усилитель, громкоговоритель, нагрузка, эквивалент.

Материалы статьи продолжают раскрывать тему, затронутую ещё 10 лет назад [1] и продолженную в 2021 г. [2, 3], подтверждая её актуальность, основанную на неизменности совместной работы усилителя мощности сигналов звуковой частоты и громкоговорителя, являющихся незаменимым связующим звеном между радиотехнической частью процесса звукоусиления и человеком.

В статье изложены сведения об устройстве, представляющем собой универсальный электрический эквивалент громкоговорителя (УЭЭГ), в схеме которого отражена возможность использования в качестве акустического оформления головки громкоговорителя (ГГ) наиболее применимых решений, ставших классическими: закрытый корпус с фазоинвертором, закрытый корпус с пассивным излучателем и рупор [4].

UNIVERSAL ELECTRIC EQUIVALENT LOUDSPEAKER

L. Tikhonova, Ph.D, SPbGUCT, Sankt-Peterburg, RF

Abstract

A circuit solution is proposed for a device that simulates the input impedance of a loudspeaker head placed in various types of acoustic design, such as a closed case with a phase inverter, a closed case, a closed case with a passive radiator and a horn. The results of modeling of individual parts of the device related to the simulation of various acoustic designs are presented

Keywords: amplifier, loudspeaker, load, equivalent

Устройство предназначено для использования при проведении наладки, испытаний и измерений параметров усилителей мощности сигналов звуковой частоты в качестве его нагрузки, что приближает условия проведения этапов к эксплуатационным. Значимость применения устройства, имитирующего электроакустические свойства громкоговорителя, подтверждена своей технологичностью и универсальностью.

Схема универсального эквивалента

На рис. 1 представлена схема УЭЭГ, на которой обозначены не только все её элементы, но и пунктирными линиями выделены элементы, относящиеся к отдельным функциональным блокам, имитирующим свойства, как самой ГГ (блок 1), так и различных видов возможного

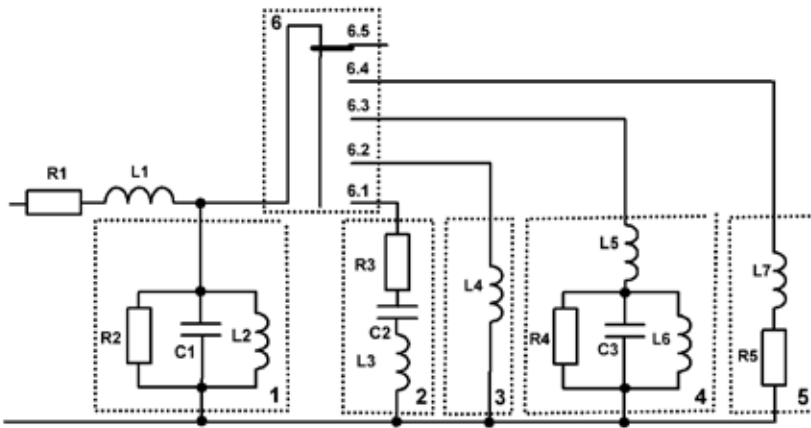


Рис. 1. Схема универсального электрического эквивалента громкоговорителя

акустического оформления громкоговорителя (блоки 2–5). На схеме представлен однонаправленный пятипозиционный переключатель 6, позволяющий подключать к электрическому эквиваленту ГГ имитатор того или иного акустического оформления или оставить эквивалент ГГ без какого-либо подключения.

В схеме устройства резистор R1 имитирует активное сопротивление звуковой катушки ГГ, которое измеряется на постоянном токе при неподвижной катушке. Катушка индуктивности L1 имитирует индуктивное сопротивление звуковой катушки ГГ, мало влияющее в области низких частот, но обуславливающее существенный подъём АЧХ модуля входного импеданса громкоговорителя в области высоких частот.

Имитатор 1 подвижной системы ГГ состоит из параллельно соединённых резистора R2, конденсатора C1 и катушки индуктивности L2 и является неотъемлемой частью электрического эквивалента ГГ.

Имитатор 2 закрытого корпуса с фазоинвертором представляет собой последовательное соединение резистора R3, конденсатора C2 и катушки индуктивности L3. Для подключения имитатора 2 к выходу эквивалента ГГ переключатель 6 должен находиться в положение 6.1.

Имитатор 3 закрытого корпуса содержит лишь один элемент – катушку индуктивности L4. Для подключения имитатора 3 к выходу эквивалента ГГ переключатель 6 следует перевести в положение 6.2.

Имитатор 4 закрытого корпуса с пассивным излучателем представляет собой последовательное соединение катушки индуктивности L5 и контура, состоящего из параллельно соединённых резистора R4, конденсатора C3 и катушки индуктивности L6. Для подключения имитатора 4 к выходу эквивалента ГГ переключатель 6 следует перевести в положение 6.3.

Имитатор 5 рупора содержит последовательно соединённые катушку индуктивности L7 и резистор R5. Для подключения имитатора 5 к выходу эквивалента ГГ переключатель 6 следует перевести в положение 6.4.

Перевод переключателя 6 в положение 6.5 позволит эквивалент ГГ оставить без использования эквивалента какого-либо акустического оформления.

Имитатор подвижной системы головки громкоговорителя

Элементы параллельного колебательного контура на рис. 1 представляют собой электрический имитатор 1 подвижной системы ГГ и предназначены:

- резистор R2 имитирует активные сопротивления, включая трение катушки о воздух в зазоре, механические потери в диффузоре, центрирующей шайбу в подвесе, а также активную составляющую сопротивления излучения;

- конденсатор C1 имитирует массу всей подвижной системы, включая массу диффузора, массу звуковой катушки, часть массы подвеса и присоединённую к диффузору массу воздуха;

- катушка индуктивности L2 имитирует гибкость подвеса и гибкость центрирующей шайбы.

Параллельный резонанс контура 1 имитирует механический резонанс подвижной системы ГГ, т.е. основной резонанс динамической головки в свободном пространстве. Элементы L1-L2-C1 образуют последовательный контур, имитирующий электромеханический резонанс в ГГ.

В ходе разработки устройства был составлен алгоритм расчёта параметров элементов схемы УЭЭГ в программной среде MathCad., что позволило провести моделирование вариантов эквивалента ГГ в различных акустических оформлениях в программной среде MicroCap.

На рис. 2 представлены схема модели эквивалента ГГ без акустического оформления (рис. 2,а) и АЧХ модуля её входного импеданса (рис. 2,б).

Позиционные обозначения элементов на схеме рис. 2,а отличаются от обозначений на схеме рис. 1, что обусловлено требованиями программы моделирования. Так введение в схему резистора R1 с сопротивлением 250 Ом, позволило увеличить внутреннее сопротивление источника сигнала V1 и обеспечить корректность работы программы. На схеме модели указаны номиналы элементов, что может оказаться полезным читателю при попытке самостоятельно провести моделирование.

На рис. 2,б отмечены координаты всплеска АЧХ, соответствующего резонансу параллельного контура C1-R3-L2, имитирующего основной (механический) резонанс подвижной системы ГГ. Частота резонанса составила 50,4 Гц, что соответствует работе низкочастотной ГГ, чьи параметры были заложены в схему модели.

Частота последовательного резонанса элементов схемы L1-L2-C1, соответствующая частоте электромеханического резонанса ГГ, составила примерно 300 Гц. На этой частоте значение модуля минимально и снижается до величины, соответствующей значению сопротивления 5,4 Ом резистора R2, имитирующего активное сопротивление звуковой катушки ГГ.

Влияние акустического оформления на свойства громкоговорителя

Явно выраженная частотная зависимость модуля входного импеданса ГГ осложняет согласование усилителя мощности сигналов звуковой частоты с нагрузкой. В результате этого явления не удаётся использовать для всех рабочих частот полную мощность неискажённых колебаний, которую усилитель способен отдать согласованной нагрузке, так как возникает нежелательная зависимость от частоты активной и полной мощностей, потребляемых громкоговорителем.

При обращении к частотной зависимости чувствительности ГГ легко отметить, что в районе частоты резонанса механической системы головки постоянство чувствительности нарушается, и она имеет всплеск. Отсюда оправдано стремление к уменьшению частоты резонанса, что влечёт за собой увеличение протяжённости равномерного участка частотной зависимости чувствительности ГГ.

Устранение всплеска чувствительности ГГ изменением особенностей конструкции её подвижной системы приводит к различным эффектам. Например, увеличение гибкости подвеса всей подвижной системы головки в практическом плане приводит к ухудшению механической надёжности фиксации катушки в кольцевом зазоре магнита. Увеличение площади диффузора приводит к увеличению чувствительности, однако это не должно сопровождаться увеличением массы подвижной системы, которая ведёт к обратному эффекту.

В тоже время добиться улучшения согласования усилителя мощности с громкоговорительной нагрузкой можно мерами выравнивания частотной характеристики модуля входного импеданса ГГ путём компенсации влияния реактивных составляющих. К таким мерам относится применение различных видов акустического оформления ГГ, среди которых можно отметить :закрытый корпус, закрытый корпус с фазоинвертором, закрытый корпус с пассивным излучателем и рупорное оформление.

Применение акустического оформления позволяет увеличить интенсивность излучения на низких частотах, а также увеличить механическое демпфирование ГГ, что позволяет «сгладить» резонансы и уменьшить неравномерность АЧХ модуля входного импеданса громкоговорителя. Акустическое оформление оказывает существенное влияние не только в области низких, но и в области средних и высоких частот.

Имитатор закрытого корпуса с фазоинвертором

Закрытый корпус с дополнительным отверстием или отверстием с трубой в передней стенке относится к акусти-

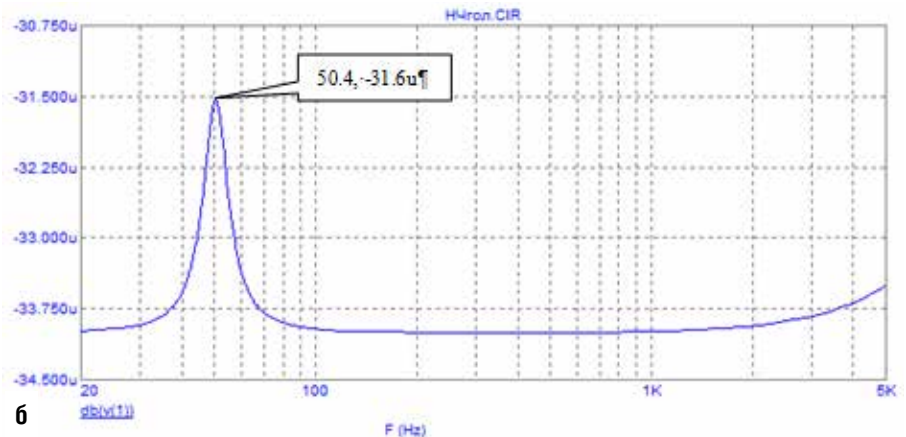
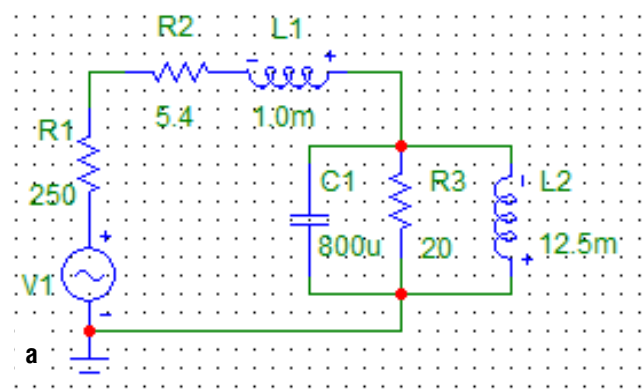


Рис. 2. Моделирование эквивалента головки громкоговорителя без акустического оформления

ческим оформлением фазоинверсного типа. Такой корпус позволяет использовать излучение тыльной поверхности диффузора. Максимальный эффект достигается в области частоты резонанса колебательной системы, образуемой массой воздуха в отверстии или трубе и массой воздуха в корпусе. Использование фазоинвертора обеспечивает повышение стандартного давления и равномерность частотной характеристики громкоговорителя в области низких частот, а также способствует снижению нелинейных искажений в области частоты основного резонанса ГГ.

Схема устройства (см. рис. 1) содержит электрический имитатор 2 акустического оформления в виде закрытого корпуса с фазоинвертором, состоящий из последовательно соединенных резистора R3, имитирующего щелевые потери за счёт различных утечек; конденсатора C2, имитирующего акустическую массу воздуха в отверстии или трубе фазоинвертора с учётом соколеблющейся массы воздушной среды и катушки индуктивности L3, имитирующей гибкость воздушного объёма корпуса.

На рис. 3 представлены схема модели эквивалента ГГ в акустическом оформлении в виде закрытого корпуса с фазоинвертором (рис. 3,а) и АЧХ модуля её входного импеданса (рис. 3,б).

При конструировании корпуса фазоинверсного типа его параметры подбираются таким образом, чтобы добиться получения его резонансной частоты, примерно, равной или чуть выше основной резонансной частоты ГГ. Однако ГГ и фазоинвертор представляют собой связанную сис-

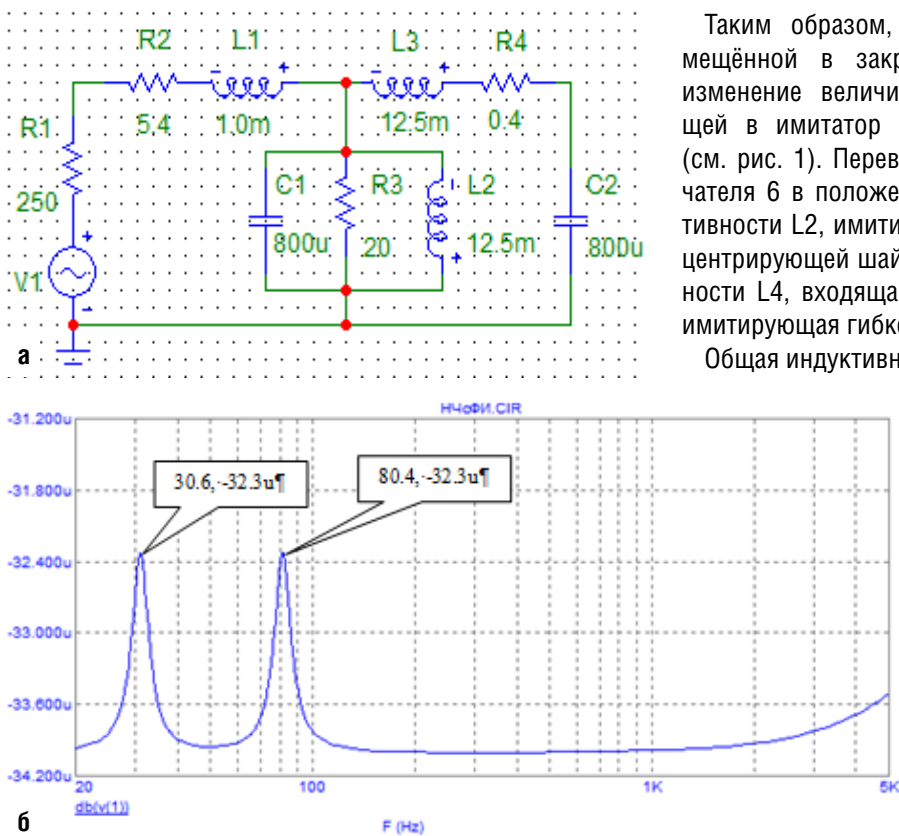


Рис. 3. Моделирование эквивалента головки громкоговорителя в закрытом корпусе с фазоинвертором

тему с достаточно сильной связью между парциальными колебательными системами. Поэтому даже при настройке обеих систем на одну и ту же частоту, резонансная кривая в области низких частот будет иметь два максимума. Для исследуемой модели частоты всплесков АЧХ модуля входного импеданса модели составили 30,6 и 80,4 Гц.

На частоте 50 Гц АЧХ имеет провал, при этом значение модуля входного импеданса эквивалента в этой точке достигает суммарной величины значений сопротивлений резисторов R2 и R4: $5,4 + 0,4 = 5,8$ Ом.

Имитатор закрытого корпуса

Закрытый корпус является простым и распространённым видом акустического оформления. Такой корпус полностью изолирует заднюю поверхность диафрагмы ГГ от внешних воздействий, но в тоже время нагружает её упругим сопротивлением воздуха закрытого корпуса.

Принцип работы компрессионного оформления состоит в том, что используются ГГ с очень гибким подвесом и большой массой, т.е. низкой резонансной частотой. В этом случае упругость воздуха в корпусе становится определяющим фактором, именно она начинает вносить основной вклад в возвращающую силу, приложенную к диафрагме. Акустическая гибкость ГГ, помещённой в закрытый корпус, будет зависит от гибкости подвеса головки и гибкости воздуха в корпусе, причём в электроакустическом эквиваленте эти гибкости соединены последовательно, что означает уменьшение результирующей общей гибкости.

Таким образом, электрический эквивалент ГГ, помещённой в закрытый корпус, должен претерпеть изменение величины индуктивности катушки, входящей в имитатор электромеханического резонанса ГГ (см. рис. 1). Переводом подвижного контакта переключателя 6 в положение 6.2 параллельно катушке индуктивности L2, имитирующей гибкость подвеса и гибкость центрирующей шайбы, подключается катушка индуктивности L4, входящая в имитатор 3 закрытого корпуса и имитирующая гибкость воздуха в закрытом корпусе.

Общая индуктивность катушки, имитирующая гибкость системы в целом, снизится, а частота механического резонанса повысится, однако при правильно подобранных электромеханических параметрах ГГ и корпуса в акустических системах такого типа можно получить максимально гладкую форму АЧХ на низких частотах, чем обеспечить чистое и сухое звучание низких частот.

На рис. 4 представлены схема модели эквивалента ГГ в акустическом оформлении в виде закрытого корпуса (рис. 4,а) и АЧХ модуля её входного импеданса (рис. 4,б). Отметим, что в схему модели введён резистор R4 с очень незначительным сопротивлением 0,001 Ом, что обусловлено достижением корректности работы программы моделирования.

Частота всплеска АЧХ модуля входного импеданса модели составила 90,1 Гц, что соответствует результатам расчётов и свидетельствует о превышении ею значения частоты 50,4 Гц механического резонанса ГГ. Как уже отмечалось выше, сгладить ход АЧХ можно конструктивными решениями корпуса.

Имитатор закрытого корпуса с пассивным излучателем

Закрытый корпус с пассивным излучателем является разновидностью акустического оформления фазоинверсного типа, способным обеспечивать воспроизведение низких частот при сравнительно небольших габаритных размерах корпуса. Особенностью этого оформления является то, что ГГ размещается в корпусе, имеющем вблизи места её установки отверстие, с закреплённой в нём подвижной системой второй ГГ без магнитной системы и центрирующей шайбы. Диаметр диффузора пассивной головки обычно выбирается, приблизительно, равным диаметру диффузора основной ГГ.

Как правило, пассивный излучатель настраивается на частоту в 2–3 раза ниже резонансной частоты головки в отличие от настройки фазоинвертора, резонансная частота которого может лишь незначительно отличаться от резонансной частоты головки.

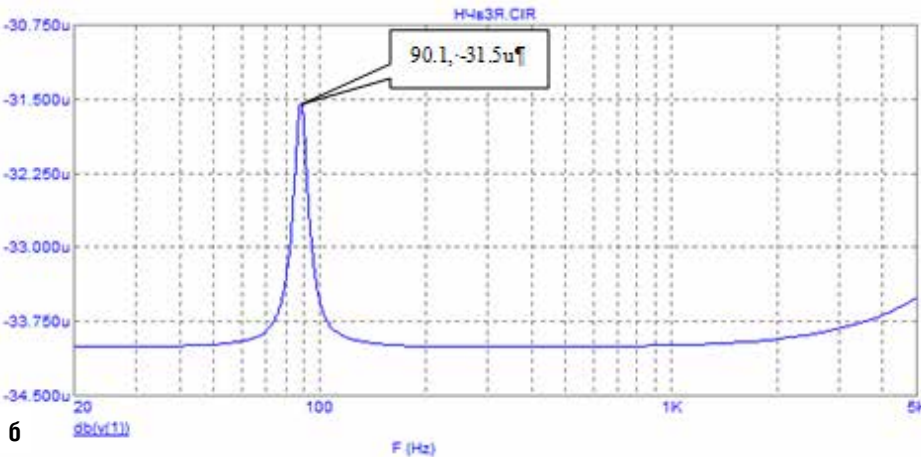
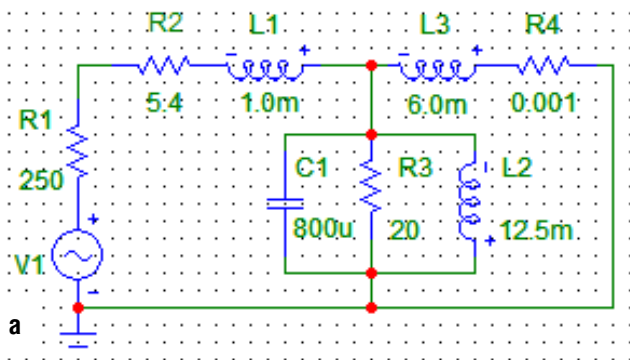


Рис. 4. Моделирование эквивалента головки громкоговорителя в закрытом корпусе

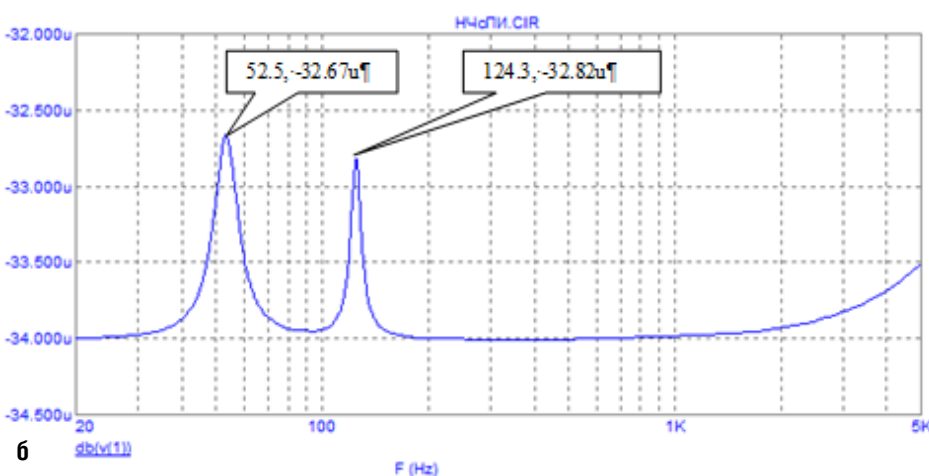
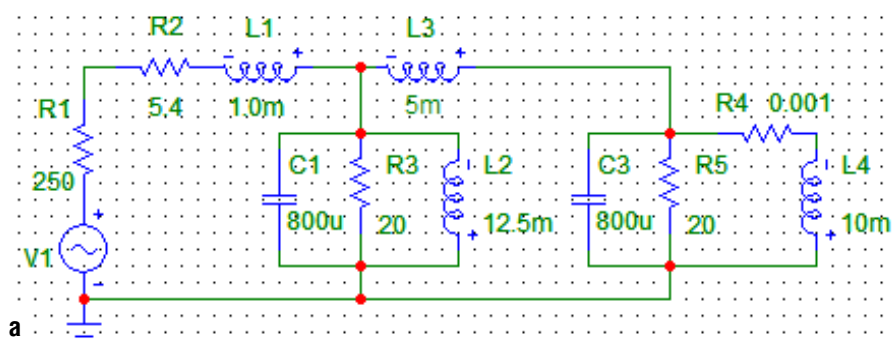


Рис. 5. Моделирование эквивалента головки громкоговорителя в закрытом корпусе с пассивным излучателем

Имитатор 4 закрытого корпуса с пассивным излучателем (см. рис. 1) содержит катушку индуктивности L5, имитирующую гибкость воздушного объема корпуса, и параллельный контур, представляющий собой имитатор подвижной системы пассивной ГГ, состоящий из резистора R4, конденсатора C3 и катушки индуктивности L6.

На рис. 5 представлены схема модели эквивалента ГГ в акустическом оформлении в виде закрытого корпуса с пассивным излучателем (рис. 5,а) и АЧХ модуля её входного импеданса (рис. 5,б). Отметим, что в схему модели введён резистор R4 с очень незначительным сопротивлением 0,001 Ом, что обусловлено достижением корректности работы программы моделирования.

Не сложно отметить наличие двух всплесков АЧХ модуля входного импеданса модели на частотах 52,5 и 124,3 Гц, по своему характеру похожих на всплески АЧХ эквивалента ГГ в закрытом корпусе с фазоинвертором (см. рис. 3,б). Однако уместно вспомнить, что пассивный излучатель, являясь разновидностью оформления фазоинверсного типа, позволяет не только качественно воспроизводить низкие частоты, но и использовать корпус с небольшими габаритными размерами.

Имитатор рупорного оформления

В электроакустическом эквиваленте рупорного громкоговорителя помимо параметров элементов подвижной системы ГГ представлены параметры элементов предрупорной камеры (гибкость воздуха предрупорной камеры) и рупора (активное сопротивление излучения рупора, приведённое к площади диафрагмы), причём эти элементы в акустическом аспекте соединены параллельно друг другу. Это означает, что в электрическом имитаторе рупорного оформления должны присутствовать последовательно соединённые катушка индуктивности и резистор, что и отражено в схеме устройства на

рис. 1. Имитатор 5 рупора содержит последовательно соединённые катушку индуктивности L7 и резистор R5.

На рис. 6 представлены схема модели эквивалента ГГ в рупорном оформлении (рис. 6,а), АЧХ модуля входного импеданса ГГ (рис. 6,б) и АЧХ модуля входного импеданса ГГ в рупорном оформлении (рис. 6,в).

Отметим целесообразность применения рупорного оформления для высокочастотных ГГ, поэтому значения параметров элементов, имитирующих ГГ претерпели существенные изменения, отражая значения параметров, соответствующих высокочастотной ГГ (см. рис. 6,а).

Сравнивая АЧХ на рис. 6,б и рис.6,в не трудно отметить существенное перемещение всплеска характеристики с частоты 8.95 кГц для ГГ без оформления на частоту 13,8 кГц для ГГ в рупорном оформлении, что свидетельствует об увеличении протяжённости равномерного участка АЧХ модуля входного импеданса рупорного громкоговорителя.

Однако следует отметить, что применение рупорного оформления связано, прежде всего, с желанием увеличить КПД системы и сузить зону направленности звукоизлучения рупорного громкоговорителя.

Заключение

Не смотря на кажущуюся простоту схем электрических эквивалентов ГГ в различных акустических оформлениях, когда один элемент схемы имитирует действие нескольких механизмов или свойств, присущих ГГ в том или ином конструктивном оформлении, проведённое моделирование подтвердило правильность подхода к решению поставленной задачи схемотехнической разработки УЗЭГ, предоставляя возможность проведения дальнейших исследований в отношении современных видов акустического оформления громкоговорителей и многополосных акустических систем. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности технического обеспечения номинального режима испытаний усилителей сигналов звуковой частоты [Текст]. – М.: Мир техники кино, 2012, № 3, с. 22–26
2. Повышение надёжности усилителей мощности сигналов звуковой частоты Часть 1: Предпосылки к

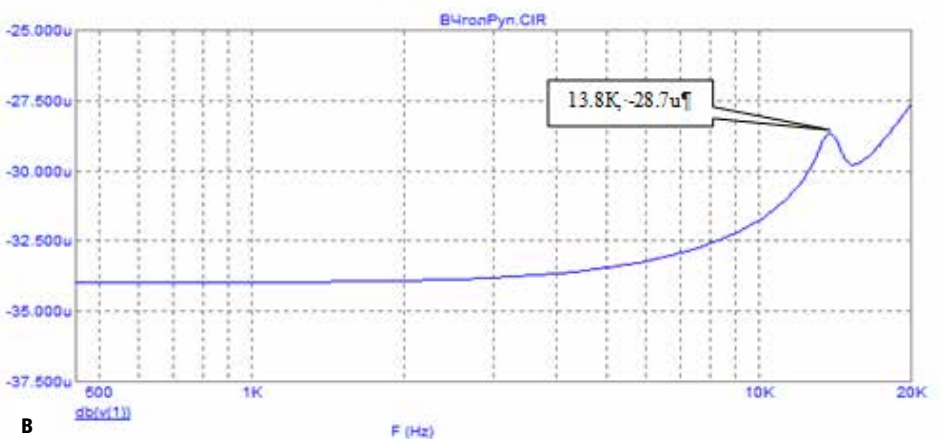
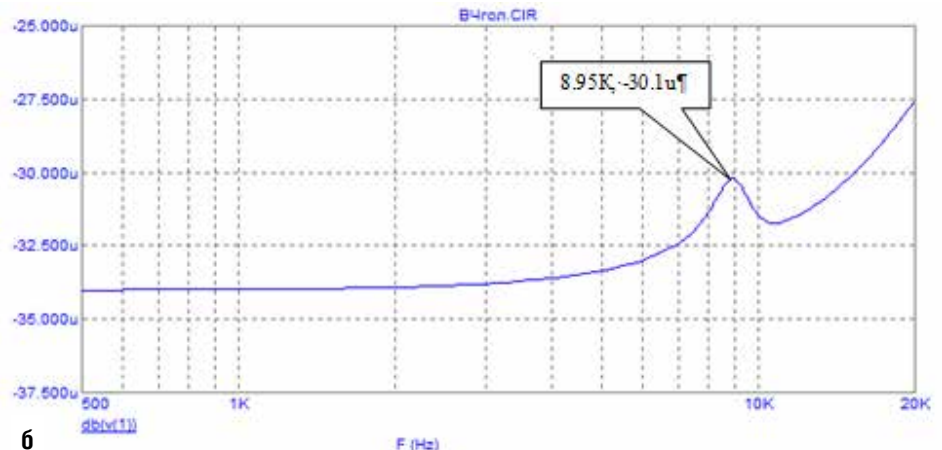
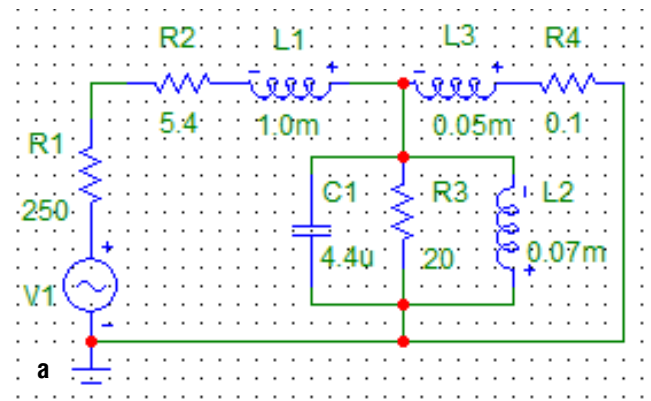


Рис. 6. Моделирование эквивалента головки громкоговорителя без акустического оформления и в рупорном оформлении

- усовершенствованию методики проектирования оконечных каскадов. [Текст]. – М.: Мир техники кино, 2021, № 1, с. 10–15.
3. Повышение надёжности усилителей мощности сигналов звуковой частоты. Часть 2: Обобщённая структура алгоритма расчёта оконечных каскадов [Текст]. – М.: Мир техники кино, 2021, № 4, с. 31–35.
4. Патент на изобретение № 2 759 317 (RU 207 301 C1) Российская Федерация, МПК Н03F 1/34 (2006.01). Универсальный электрический эквивалент громкоговорителя [Текст] / Тихонова Л.С.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения. Заявка № 2021102963, 08.02.2021: опубл. 11.11. 2021, бюл. № 32.



ЛЕВ ТОЛСТОЙ

по ту сторону

СТЕРЕОКИНО



Александр Мелкумов, оператор-постановщик фильма

Аннотация

В статье говорится о технологии соединения различных старых стереоскопических фотографий с киноизображением при съёмке фильма «Лев Толстой по ту сторону стереокино»

Ключевые слова: стереосъёмка, стереофотография.

■ По заказу ИРИ (Институт развития интернета) в рамках программы «Умное кино», разработанного обществом «Знания», был создан полнометражный документально-игровой фильм «Лев Толстой по ту сторону фотографий» (автор сценария и режиссёр Дмитрий Новиков). Оригинальность данной работы заключалась в том, что через многие годы забвения, был создан полнометражный отечественный фильм в стереоскопическом (3D) формате. Триггером выбора такого формата послужили прижизненные стереоскопические фотографии Льва Николаевича, снятые в начале двадцатого века и хранящиеся в настоящее время в музее на Пречистенке в Москве. Их немного, около тридцати. Основными объектами, где запечатлён Л.Н.Толстой, были интерьеры дома, расположенного на территории усадьбы «Ясная поляна», и ландшафт самой усадьбы. Объекты по настоящее время сохранились в идеальном состоянии, потому и возник соблазн соединить фотографии начала двадцатого века с их киноизображением

LEO TOLSTOY ON THE OTHER SIDE OF THE STEREO CINEMA

A. Melkumov, film director of photography

Abstract

The article talks about the technology of combining various old stereoscopic photographs with a film image when shooting the film "Leo Tolstoy on the other side of stereo cinema"

Keywords: *stereo photography, stereo cinema.*

нового века. Предполагалось «продлить» действие, запечатлённое в фотографиях, игровыми сценами с гипотетическими историями, которые сочинялись на основе дневниковых записей Льва Толстого и окружающих его современников.

Путь к осуществлению этой идеи растянулся почти на четверть века, с тех пор, как у нас на руках оказались отпечатки этих фотографий. За это время разительно изменились технологии кинопроизводства. Приступали к реализации задуманного в аналоговой плёночной технологии отечественной системы «Стерео-70», где предполагалось использование широкоформатной 70-мм киноплёнки. (Фото 1 отечественная штативно-плечевая 70-мм стереокамера). Автором проекта тогда выступал Вячеслав Ребров. Но высокий бюджет и зависимость от лабораторной обработки 70-мм киноплёнки в Париже, не позволили утвердить финансирование в тогдешнем Госкино. На первом этапе ограничились переводом стереопарных изображений в анаглифный формат, что

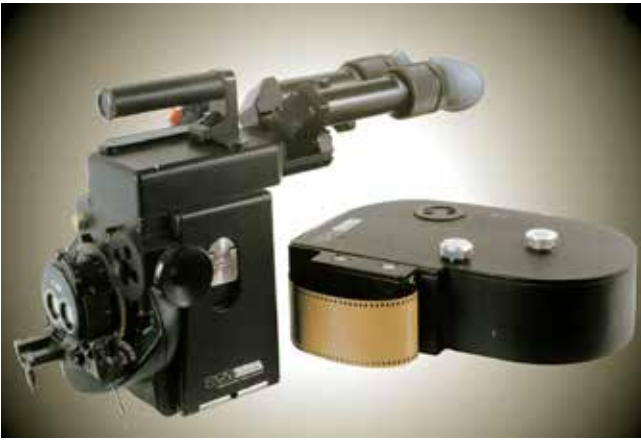


Фото 1 отечественная штативно-плечевая 70-мм стереокамера



Фото 2 отечественный журналистский стерео риг

позволяло отказаться от индивидуального просмотра через стереоскоп и устраивать публичные показы в сине-красных очках. Так по заказу руководства музея «Ясная Поляна» была создана передвижная выставка из 20 анаглифных стереофотографий размером 50x50 см, для распространения и популяризации были изданы буклеты с картонными очками.

По мере развития цифровых технологий и поиска решений их внедрения в стереокино параллельно продвигались по пути отбора натурального материала. Снимали в стерео и цвете фотографии локаций усадьбы, композиционно идентичных тем, что запечатлены были на исторических фотографиях. В 2008 году в НИКФИ был создан цифровой комплекс для стереосъёмки в формате HDV. (Фото 2 – отечественный журналистский стерео риг), которым были проведены первые натурные стерео видеосъёмки усадьбы «Ясная Поляна» и снята реконструкция Бородинского сражения. Часть отснятого материала впоследствии вошла в фильм.

В настоящее время существует полноценное технологическое решение по производству стереофильмов отечественной оптикой «Стерео-70» с заменой плёночной широкоформатной камеры на цифровой рекордер «Phantom 65». (Фото 3, цифровой рекордер «Phantom 65» с объективом «Стерео-70»). Эта технология была опробована в 2010 году на производстве стереофильма «Самый лучший фильм в 3Д» (реж. Кирилл Кузин, оператор Улугбек Хамраев). Однако, из-за низкой стоимости предполагаемого проекта о Толстом, было решено использовать бюджетные, но полноценные для стереосъёмки видеокамеры компаний Sony и Panasonic (Фото 4, Камеры Sony 3D и Panasonic Z10000»).

Первая творческая и техническая проба пера в поисках «оживления» и соединения статичных стереоизображений с изображением современной реальности прошла на полнометражном стереофильме «Дом фотографа» о первом российском фотографе 19 века А.О. Карелине и его дружбы с В.Г. Шуховым, выдающимся инженером, архитектором и изобретателем, который увлекался стереофотографией (автор сценария и режиссёр Дмитрий Новиков, 2021 год – <https://youtu.be/t3AvTTj9Vto>).



Фото 3 цифровой рекордер «Phantom 65» с объективом «Стерео-70»



Фото 4 Камеры Sony 3D и Panasonic Z10000»

Пути творческих решений в новом фильме были сложными и противоречивыми. От первоначального замысла осталось лишь несколько фрагментов. Таких, например, как соединение реального изображения сохранившегося мемориального кресла на фоне кленовой рощи с аналогичной композицией исторической фотографии того же кресла, но у же с сидящим в нём Львом Толстым (Фото 5. Кадр из фильма «Лев Толстой по ту сторону фотографий»). Таким же образом сюжетно была развёрнута фотография Льва Николаевича с женой Софьей Андреевной на исторической веранде, на которой были запечатлены сидящие супруги (Фото 6 Историческая стереофотография Л.Н. Толстого с С.А. Толстой). Зрителю даётся возможность как бы продолжить далее запечатлённое событие, но уже с обратной точки съёмки, разыгрывая диалог со спины сидящих. И далее встающая Софья Андреевна проигрывает свой монолог, перемещаясь в глубинном мизансценировании, позволяющим иметь переменную крупность героини, и одновременно подчеркивать пространственную картину изображения.

(Фото 7 Кадр из фильма «Лев Толстой по ту сторону фотографий»).

Изначально было решено отказаться от какого либо актёрского сходства с Львом Николаевичем. Поэтому было решено обозначать его присутствие в кадре какой либо частью фигуры: руками, бородой, плечом и т.д. И только закадровый голос актёра Малого театра Александра Клюквина наполнил изображение мистическим присутствием самого Толстого.

В результате позднего открытия финансирования фильма съёмки пришлось на осень, которая выдалась в 2022 году дождливой и сумрачной. Съёмки можно было вести в музее-усадьбе только по понедельникам, когда она закрывалась раз в неделю на профилактику. Даже на природе невозможно было работать из-за постоянного присутствия посетителей, которые по закону не могут быть ограничены в своих передвижениях по парку. В понедельник солнце, как правило, тоже «отдыхало». Процесс прихода «золотой осени» отодвигался на неопределённое время, да и сама она оказалась очень скоротечной. Лишь чудом в день, который начинался с силь-

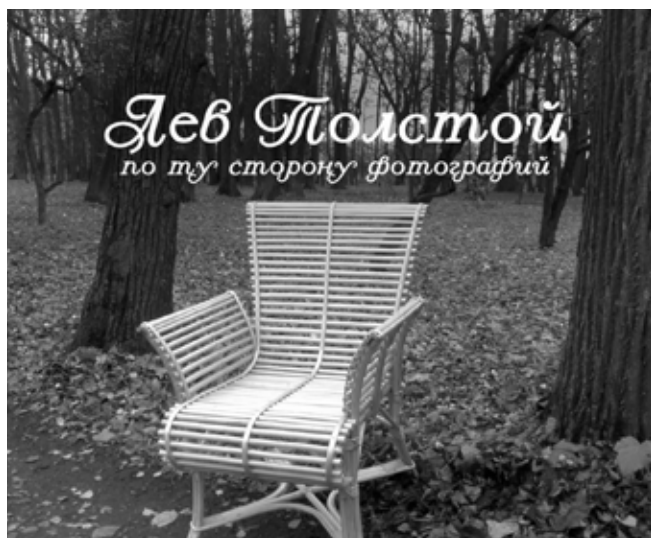


Фото 5 Кадр из фильма «Лев Толстой по ту сторону фотографий»

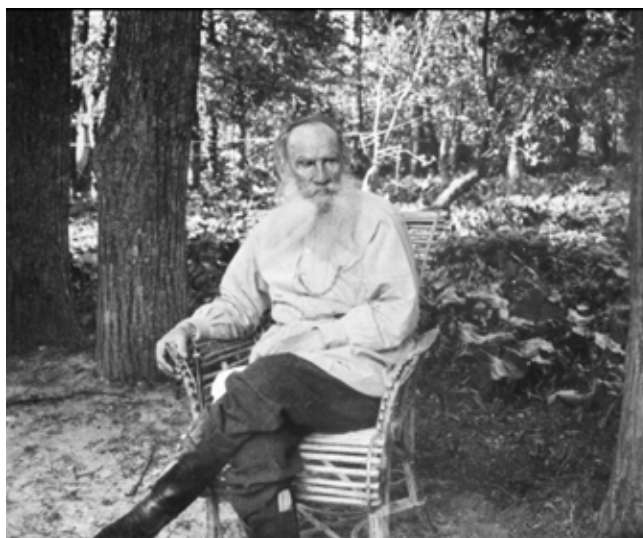


Фото 6 Историческая стереофотография Л.Н. Толстого с С.А. Толстой





Фото 7 Кадр из фильма «Лев Толстой по ту сторону фотографий»

нейшего тумана, а потом ливнем, после обеда солнце выглянуло часа на четыре, и за это время нам удалось благодаря профессиональной работе пилота квадрокоптера Антона Ельчанинова отснять полёты с лошадьми и над усадьбой, которые в стереофильм внесли немалую часть эмоционального восприятия.

По вышеизложенным причинам не удалось «разыграть» некоторые композиции в локациях усадьбы, которые были запечатлены на исторических фотографиях, как это было сделано на веранде. Основные съёмки пришлось сосредоточить в интерьерах дома усадьбы. Если для съёмок фильма «Лев Толстой» режиссёра Сергея Герасимова на пражской киностудии был выстроен декорационной комплекс интерьеров, скрупулезно скопированных с исторического дома, то в нашем фильме все актёрские сцены разворачиваются в мемориальных интерьерах. Главной проблемой стало соприкосновение актёров с историческими предметами. Надо отдать должное руководству и всему коллективу музея, который имеет богатый опыт сотрудничества с киносъёмочными группами. У музея на этот случай существуют копии мемориальной мебели: столы, плетёные кресла, стулья. На время съёмок по согласованной заявке исторические предметы заменялись их копиями или нашим реквизитом, который мы с собой привозили. Например: со стола в секретарской убиралась все письменные предметы исторической эпохи (заменялись нашим реквизитом); актриса, исполняющая роль Софьи Андреевны (Елена Тонунц), могла обыгрывать уборку стола (расставляла на нём копии этих предметов). Так же заменялась мемориальная печатная машинка на взятую из реквизиторского цеха, на которой отстукивала Александра Львовна (актриса Юлия Вергун). Одной из проблем оказались в кадре стеклянные колпаки, которые накрывали столы, полки и скульптурные прижизненные бюсты Толстого. В одних случаях сотрудники музея шли нам навстречу и снимали колпаки, в других – сделать это было технически невозможно.

Отсутствие солнечных дней и короткого светового дня резко сокращало съёмочное время в доме. Приходилось снимать на почти открытых диафрагмах, и только

благодаря малым размерам матриц стереокамер, удавалось сохранять значительную глубину резкости изображения, для передачи пространственного рисунка, столь необходимого в стереофильме. Фильм изобилует длительными монологами, которые, несмотря на значимость их содержания, были бы скучны и утомительны при восприятии стереокино. По этой причине монологи проигрывались по принципу глубинного мизансценирования, разработанного ещё Михаилом Роммом, или актёры проговаривали их на проходах по анфиладам дома. Сцена в эпизоде «Юбилей», где одновременно присутствовало семь персонажей, нарочито строилась по принципу

театральных композиций, что позволяло использовать внутрикадровый монтаж: когда персонажи поочередно «выдвигались на авансцену» к камере, проигрывая свой текст. Это был как бы организованный хаос, и в тоже время пространство всегда было заполнено по глубине персонажами, что немаловажно в стереокино.

Если анализировать крупность планов персонажей по всему фильму, то практически все планы были сняты одним объективом с фокусным расстоянием, близким к естественному углу человеческого зрения. Крупность менялась только степенью приближения или удаления камеры относительно актёра. Причём часто не камера приближалась, а сам актёр к камере. Это влечёт за собой сложности в выставлении портретного света, но и одновременно и создание интересной световой динамики в актёрской игре. По такому принципу выстраивался монолог Софьи Андреевны в гостиной у буфета, где невозможно было обыграть какой-либо источник света. Поэтому было принято решения расставить некие световые ловушки для боковых или нижних рефлексов, в которые актриса попадала на протяжении длительного монолога, приближаясь из глубины кадра и удаляясь вглубь при статично стоящей камере.

По фильму встречаются цветовые решения, которые являются инструментом внутрикадрового монтажа, когда необходимо как бы вывести персонаж из одного состояния в другое и обратно, не разрезая при этом саму сцену. Так, например, в эпизоде, когда секретарь Толстого (актёр Александр Лисицин) зачитывает Толстому письма, присланные в связи с юбилеем, обращается к зрителю и даёт оценку письмам и их авторам, и далее продолжает общение с писателем. Традиционно, наверное, тут надо было сделать вставку, дать персонаж в другом ракурсе. Но достаточно было, не останавливая игру актёра, перейти из цвета в монохром, проиграть кусок сцены, и, далее, вновь вернуться в цвет, когда секретарь продолжает общение с Толстым. Так же было решено использовать приём постепенного наполнения цветом игровой сцены, идущей вслед за монохромной фотографией, или наоборот, удаление цвета перед переходом к фотографии.

Особое место в фильме занимают исторические фотографии и кинохроника. Так как в фильме зрительный образ Толстого складывается только по фотографиям, важно было, чтобы игровая реконструкция, закадровый голос Толстого в исполнении актёра и сами фотографии слились в единый ансамбль и не вызвали у зрителя диссонанс в их восприятии. Так, например, в начале второй сцены на веранде обращение Софьи Андреевны к Толстому даётся в параллельном монтаже с наездом на его портрет, где он изображён сидящим на этой же веранде. Для усиления сочленения исторического документа с

бы историческую правду самих фотографий. Сделали исключение только для двух композиций. Как метод, игровой эпизод начинается с исторической стереофотографии, которая обозначает место будущего действия, далее изображение перелистывается, имитируя альбомный лист, раскрывая уже реальный интерьер, где разворачивается игровой эпизод (Фото 8). Но, две композиции – где Толстой стоит у стола своего секретаря, и Софья Андреевна, сидящая в столовой, были только в плоской версии, поэтому было принято решение конвертировать их в стереоформат. Возможно решение это спорное, и



Фото 8 Пример перехода от стереофотографии к реальному изображению

«дополненной реальностью» игровой сцены после ухода Софьи Андреевны с веранды, был поставлен, взятый из кинохроники и конвертированный в стереоформат, кадр снятого уходящего от нас Толстого, в спину.

По фильму исторические стерео фотографии соседствуют с традиционными плоскостными. Первоначально был большой соблазн конвертировать эти фотографии в стереоскопическое изображение. И, как показали пробы, качество стереоскопии получается не хуже реальных. Но пришли к выводу, что таким решением убили

надо было оставить изображение плоским. Что касается кинохроники, то тут хотелось удивить зрителя потенциальной возможностью превратить хроникальное изображение в объёмное, особенно в тех местах, когда оно органично сочетается с игровым стереоизображением.

Заключение

И в заключение статьи хотелось бы отметить, перефразируя известную фразу: в стереокино все темы и жанры хороши. Главное, чтобы оно не было скучным. ■

КАК НАУЧИТЬСЯ ФОТОКОМПОЗИЦИИ

Часть шестая. Начало работы с цветом

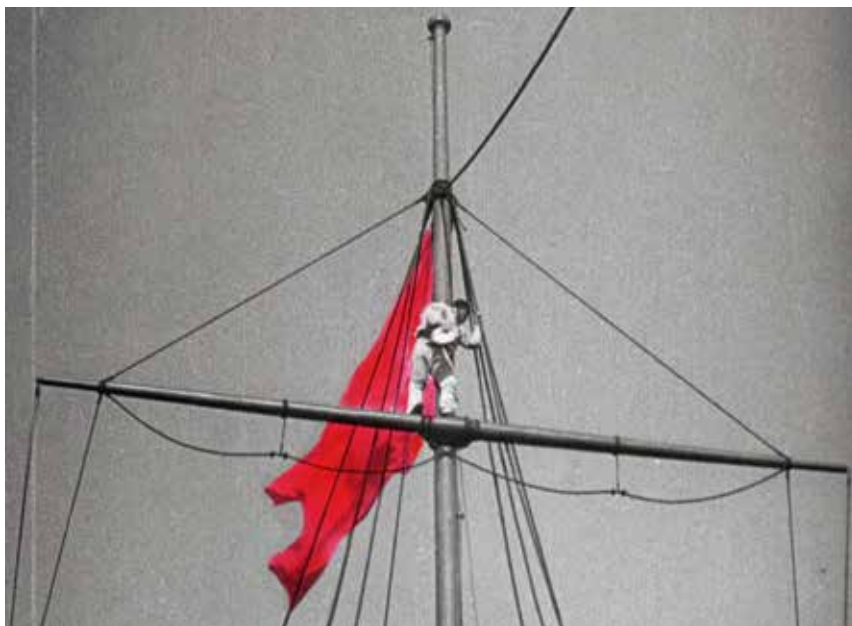


■ Е.А. Артемов, info-poli@yandex.ru, преподаватель фотокомпозиции, член Объединённого комитета художников-графиков г. Москвы, РФ

■ «Что мне почитать о цвете?» – спросила меня ученица лет пятнадцать назад. Я растерянно замолчал. Цвет изучается многими науками, с самых разных сторон. Цветоведение, физика, физиология, психология, лингвистика – она исследует способы передачи информации о цвете вербальными методами, – и многие – многие другие. Усвоить все знания о цвете нереально даже за годы учебы в ВУЗе! И, самое главное, никакого всеобъемлющего учебника по работе с цветом не существует. Не существует никакого исследования, описывающего феномен цвета всесторонне. Человеческое знание подобно островкам в океане неизведанного, и работа с цветом в различных сферах человеческой деятельности не более, чем набор практик, опирающихся на какие либо локальные знания о цвете.

«Почитайте «Не цветное, а цветное» Сергея Эйзенштейна» – пробурчал я. И, с точки зрения кинематографиста, я дал правильный ответ.

Почему снимали серый флаг, а не белый, удобный для раскраски? Белый флаг не отличался бы по яркости от Андреевского военно – морского флага Российской империи и не смог бы «сыграть» красный флаг в нерас-



Илл. 1. Пример осмысленного использования цвета в кино. Броненосец Потёмкин. Финальный кадр. (Примечание 1).

Примечание 1. Я не хочу плодить новые мифы. Тот цвет красного флага, который развевается над «Потемкиным» в моей иллюстрации из интернета, не мог быть увиден зрителями на премьерном показе кинофильма в Большом театре в 1925 году. Анилиновыми красителями, нанесенными поверх серого тона флага на чернобелой пленке, такую насыщенность красного получить невозможно. Приведенный кадр – современная раскраска в Фотешоп. Если бы С. Эйзенштейн с кинооператором Э. Тиссе сняли настоящий красный флаг над восставшим броненосцем, флаг, при тогдашней цветочувствительности кинопленки, был бы черным, анархическим. Тиссе, по-видимому, снял серый флаг, который, по легенде, был собственноручно раскрашен Г. Александровым (108 кадров) в красный цвет. Почему плёнку раскрашивал актёр, а не квалифицированный работник киностудии? Ещё один советский миф?

крашенных копиях кинокартины. Кроме того, он сливался бы с белой формой моряка, стоящего рядом с флагом на мачте. Ещё одно подтверждение тезиса, что в искусстве – всё не совсем так, как было в действительности.

Сейчас количество литературы, опирающейся на практику кинематографа, значительно расширилось. Я посоветовал бы читать книги суперзвезды мировой кинооператорской школы Витторио Стораро. Для начала посмотрите стрим моего талантливого ученика Ивана Поморина, посвящённый цветовым воззрениям Стораро – <https://youtu.be/5YOXdLlvJWk>.

Определение цвета я дал ранее в части четвёртой цикла статей «Как научиться фотокомпозиции» (смотрите журнал МТК № 64 за 2022 год). Если Вы читали мои предыдущие статьи, то заранее знаете мой ответ, с какой стороны подойти к изучению цвета – с практической.

Ученики художественной школы начинают работу с цветом, смешивая краски на своей палитре. Затем они пишут этюды с натуры, постановки – натюрморт, портрет, – и значительно позднее слушают лекции по основам цветоведения. Ко мне приходят школьники, не име-

ющие никакой художественной подготовки и ни разу не пробовавшие осмысленно работать с цветом.

Хороший педагог – вдохновляет. И моя задача вдохновить моих учеников на создание первых художественных произведений.

Я опираюсь на их представления о цвете, полученные из всей совокупности жизненного опыта школьника – переданные генетически, вынесенные из литературы, кинематографа, изобразительного искусства – и стараюсь помочь выразить эти представления через их первые работы. Ни в коем случае на данном этапе обучения не нужно давать никакие цветовые схемы, ни голливудские, ни применённые в отечественном кинематографе. Они только помешают начинающим авторам. Эти схемы нужно изучать очень осмысленно, очень критично гораздо позже.

Информацию о психологическом и физиологическом воздействии цвета нужно получить из рекомендованной литературы.

Следует подчеркнуть, что цвет очень важная составляющая мира человека. Различие тёплого и холодного, дальнего и близкого, ядовитого и съедобного позво-



Илл 2. постеры фильмов Голливуда, отражающие популярный, teal&orange, колорит кинокартин.

лили людям выжить в процессе эволюции и сформировали психологическое отношение людей к тому или иному цвету. Именно эти представления, впитанные с молоком матери, и потом развитые в течение жизни, позволяют на подсознательном уровне, ещё до всякого обучения, принимать или отвергать те или иные цвета и их сочетания. Социальный опыт развивает и корректирует эти предпочтения. И, как педагог, я обязан социализировать своих учеников, развивать в них художественный вкус, который опирается на физиологию и психологию, но, как и всё в обществе, носит характер социальной нормы.

Для развития колористического видения нужно замечать и фотографировать цветовые сочетания, сложив-

шиеся на натуре. Необходимо помнить о необходимости избегать одноцветных этюдов, о необходимости вводить в учебные композиции дополнительные цвета или цвета, воспринимаемые человеком константно – смотрите 5 часть моего цикла статей.

Обратите внимание, что этюды учащихся не только не тонированы, но и не одноцветны. У В. Ключева, где основной тон – жёлтый одного оттенка, присутствует серый цвет, в этюде М. Николаева с голубым цветом стен туалета контрастирует розовый платок уборщицы – мусульманки, и так в каждой учебной работе. Посмотрите ещё раз мою статью «Основы цветного освещения» – МТК_64_2022. Я подробно разбираю там природную необходимость такого колористического



Илл. 3. Ирина Кантор. «Жёлтые леггинсы»



Илл. 4. Владимир Ключев. «Жёлтый коридор»



Илл. 5. Алексей Токун. «Фирменный жёлтый»



Илл. 6. Пётр Мантула. «Голубой этюд»



Илл. 7. Максим Николаев. «В Стамбуле»



Илл. 9. Константин Мазов. «Красные стяги»



Илл. 8. Антон Доруженков. «Серые и оранжевое»



Илл. 11. Екатерина Андреева. «Розовое и голубое»



Илл. 10. Тимур Галиев. «Этюд в розовом»

решения. Это решение – основа голливудского teal&orange колорита.

Затем следует практиковаться в тонировании чёрно-белых фотографий. Это очень полезное упражнение для начала работы с цветом. Необходимо одновременно учитывать и смысловую, и художественную обусловленность применяемых цветов.

Диана очень тактично, неназойливо тонировала свои работы.

Наконец, нужно упражняться в тонировании цветных фотографий. Опять на первом месте – драматургическое воздействие цвета.

Посмотрите, что запомнилось этой юной хрупкой девушке из голливудской



Илл. 12. Диана Даргаева. Колористические этюды

Илл. 13. Диана Даргаева. «Голливуд»



Илл. 14. Варвара Дронина. «Этюд»



Илл. 15.



Илл. 16.



Илл. 17.

продукции? Насилие и жестокость. Hollywood, go home! Вон из России!

Кажется, что зеленоватое стекло павильона окрасило окружающий пейзаж. Но это не совсем так. Инструментом Яркость и контрастность в Фотошоп цвета практически перевернуты, сочность цветов значительно поднята одноименным инструментом. Результат кажется зрителю возможным при таком освещении.

О необходимости выборочной работы с цветом фотоснимка я писал в пятом выпуске серии моих статей, в статье «Основы колорита». Очень показательна работа Алексея Токун «Этюд в зеленых тонах».

Алексей чувствовал, что красный цвет неба – дополнительный цвет к зеленоватому переулку. Но в данном этюде данный красный разрушал колористический строй произведения. Алексей заменил цвет неба на голубой, цвет с той же стороны цветового круга, что и зелёный.

Я предложил Алексею продолжить работу и сильнее приблизить цвет неба к цвету домов, сделать небо холодного, изумрудно цвета или цвета морской волны. Я полагал, что константных ахроматических цветов в одежде актрисы достаточно для завершения колорита данного этюда. Вот так моё предложение было реализовано автором.

Натюрморты, снятые в павильоне, позволяют контролировать цветовое решение за счёт выбора цвета объектов, включённых в кадр.

Красный – это цвет страсти по Сторраро, у людей в красном помещении повышается давление, а у селезней увеличиваются семенники. Наверно, поэтому красные факелы платьев полыхают в залах и Москвы, и Берлина, и Праги, и Парижа...

Жёлтый, тёплый песок пустыни показался Марии слишком оптимистичным для такого трагического рас-



Илл. 18. Татьяна Кривошеева. «Красный цвет»

сказа. Мария колоризовала цветной снимок. С помощью изменения цветовой температуры и оттенка она окрасила натюрморт в «лунный», ночной тон.



Илл. 19. Мария Шагурина. «Судьба байкера»



Илл. 20. Мартынюк Роман



Илл. 21. Георгий Калошин. «Жемчужные серёжки»



Илл. 22. София Будаева. «Виноград»

Цвет красной линии, отчерчивающей поля в тетради с чернильными кляксами, не понравился Роману. Он заметил красный цвет на синий. Можно объяснить превосходство и синего цвета – он близок к цвету пера – и красного – он дополнительный для синих тонов. Важно, что учащийся задумывается над цветом и колоритом своих работ.

Очень удачный по цвету ремейк кинокартины «Девушка с жемчужной серёжкой» режиссёра Питера Веббера, оператор Эдуардо Серра. Ультрамарин, любимый цвет Вермеера Дельфского, использован очень уместно. За счёт цвета натюрморт безошибочно адресует зрителя к кинофильму – первоисточнику и к творчеству самого Вермеера.

Колорит снимка изменён только заменой фона. Серый цвет фона показался Софии обыденным и невыразительным, а фактура лишённой «характера». Итоговый колорит – тёплый, отсылающий к солнцу и югу.

В следующей части статьи мы разберём, чем обусловлен колорит голливудских фильмов и как он соотносится с колоритом в истории изобразительного искусства. ■

ЛИТЕРАТУРА:

1. Генрих Фриллинг, Ксавер Ауэр. «Человек – цвет – пространство». Прикладная цветопсихология. М., Стройиздат, 1973 г.



ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКИ О КИНОСЪЁМОЧНОЙ АППАРАТУРЕ



О.Н. Раев, к.т.н., доцент, ncenter@list.ru, Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, лётчика-космонавта А.А. Леонова, Сергиево-Посадский филиал Всероссийского государственного университета кинематографии имени С.А. Герасимова, РФ, Г.В. Тихомирова, д.т.н., профессор, kvatihomirova@mail.ru, Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, РФ К.К. Гудинов, kvakg@mail.ru, Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, РФ

Аннотация

В статье рассмотрены пять этапов становления и развития отечественной кинотехнической науки на примере науки о киносъёмочной технике с момента её зарождения в конце XIX века до нашего времени.

Показано современное состояние кинотехнической науки и обоснован реальный путь её возрождения через создание нового государственного образовательного учреждения высшего образования по подготовке инженеров в области аудиовизуальной техники, составной частью которой является кинотехника.

Ключевые слова: кинотехническая наука, кинотехническая отрасль, история кинотехники, киносъёмочный аппарат, преобразования изображений.

STAGES IN THE DEVELOPMENT OF DOMESTIC SCIENCE OF FILMING EQUIPMENT

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor, ncenter@list.ru, Leonov Moscow Region University of Technology, Russian Federation Moscow State University of Cinematography named after S.A. Gerasimov, Russia, Galina V. Tikhomirova, D.T.S., Professor, kvatihomirova@mail.ru, St. Petersburg State Institute of Cinema and Television, Russia, Konstantin K. Gudinov, kvakg@mail.ru, St. Petersburg State Institute of Cinema and Television, Russia

Abstract

The article considers five stages of formation and development of the national cinematographic science on the example of the science of cinematography from its inception in the late XIX century to the present time.

The present state of film engineering science is shown and the real way of its revival through the creation of a new state educational institution of higher education for training engineers in the field of audiovisual technology, a component of which is film engineering, is substantiated.

Key words: cinematographic science, cinematographic industry, history of cinematography, filming apparatus, image transformation.

1 этап. Первые изобретатели киносъёмочных аппаратов в России

Первые попытки русских изобретателей создать киносъёмочный аппарат были в конце XIX века. Так, «в 1891 г. В.А. Дебюк изобрёл хронофотографический аппарат» [32].

В 1895 году появился синематограф братьев Луи и Огюста Люмьер, чрезвычайно быстро распространившийся по всему миру. И уже в мае 1896 года на территории России выполнена первая хроникальная киносъёмка – киносъёмка коронационных торжеств восшествия на престол Николая II. С этого времени в нашем зарождающемся кинопроизводстве использовалась исключительно зарубежная кинотехника.



Первые киносъёмки в России

Но творческие технические поиски отечественных энтузиастов не прекратились. «В 1896 г. А. Самарский создал аппарат для фотографирования – хрономотограф. Несколько позже в том же году Акимов изобрёл “аппарат снимания фотографий и процирования их в оживлённом виде”, а К. Пружинский — портативный узкоплёночный аппарат. В 1896 г. харьковский фотограф А.К. Федецкий занялся усовершенствованием существовавшей в тот период съёмочной аппаратуры; однако в условиях дореволюционной России все эти изобретения не получили должного развития» [32]. Продолжавшиеся попытки создания отечественных киносъёмочных аппаратов изобретателями И.А. Акимовым, В.А. Дебюком, К. Пружинским, А.Д. Самарским и др. также не приносили результатов. В стране дальше ремонта используемых при киносъёмке зарубежных киноаппаратов в мастерских отечественных киностудий дело не шло. Все используемые в фильмопроизводстве киносъёмочные аппараты были зарубежными, изготавливаемыми по индивидуальным заказам и представляли собой штучные либо мелкосерийные изделия ручного изготовления конструкции Луи Люьера, Шарля Патэ, Жоржа Дебри и др.

После революции и гражданской войны в стране от кинотехники почти ничего не осталось. «Впервые после революционные годы разработкой новых образцов

киносъёмочной аппаратуры занимались рабочие-изобретатели, такие, например, как мастер-самоучка Кулаков из г. Тбилиси, механик Коновалов из г. Ногинска, В. Гасимов из г. Орджоникидзе, а также студент Московского кинотехникума С. Гольдштейн и другие» [32]. Но это были не более, чем экспериментальные образцы. Поэтому уже в начале 1920-х годов Советский Союз, не имея собственной кинопромышленности, стал закупать киносъёмочные аппараты во многих странах, при этом основу парка киносъёмочных камер в Советском Союзе в то время составляли аппараты французской фирмы Debré (Дебри).

Соответственно, при отсутствии кинотехнической промышленности в стране не могло быть и отечественной кинотехнической науки, в то время она была ещё не востребована, но начальные её основы уже формировались через изобретательскую деятельность русских умельцев.

2 этап. Рождение отечественной кинотехнической науки

Первый пятилетний план развития народного хозяйства СССР, принятый в 1928 году, предусматривал всестороннее развитие народного хозяйства, в том числе создание кинотехнической промышленности. А для этого необходимы были квалифицированные кадры и отраслевая наука. Согласно первому пятилетнему плану в стране:

- к 1930-м годам было развёрнуто промышленное производство киноплёнок;
- в 1929 году создан Научно-исследовательский кинофотоинститут (НИКФИ);



Научно-исследовательский кинофотоинститут

– в начале 1930-х годов ремонтные мастерские кинотехники в Москве, Ленинграде и Одессе преобразованы в специализированные киномеханические заводы;

– в 1930 году на базе Государственного техникума кинематографии организован Государственный институт кинематографии, который в 1938 году преобразован во Всесоюзный государственный институт кинематографии (ВГИК);

– в 1931 году образован Ленинградский институт киноинженеров (ЛИКИ) на базе факультета инженеров звуко-



Ленинградский институт киноинженеров

вого кино Ленинградского учебного комбината высшей и средней кинофототехники [8].

Создание НИКФИ, ЛИКИ и ВГИКа позволило организовать регулярные научно-исследовательские работы в области кинотехники, в том числе по изучению киносъёмочной аппаратуры. В 1930-х годах быстрыми темпами была заложена основа отечественной научной кинотехнической школы, разработаны и апробированы методы расчётов основных деталей и узлов киноаппаратуры. Уже в 1938 году Сергей Михайлович Проворнов (ЛИКИ) опубликовал первое кинотехническое учебное пособие «Детали и механизмы киноаппаратуры» [30]. В том же году Евгений Васильевич Головня выпустил в свет книгу «Курс киносъёмочной аппаратуры» [4] и в 1939 году – книгу «Советская киносъёмочная аппаратура» [5].

Всё это способствовало быстрому становлению отечественной кинотехнической науки, создаваемой как специализация задач проектирования узлов и механизмов киносъёмочных аппаратов на базе теории оптических систем, теории машин и механизмов, кинематики и динамики механизмов, к которым позже добавились теория электротехники, теория звука и т. д.

В результате сформировалась отечественная кинотехническая наука.

Проектирование киносъёмочных объективов выделилось в отдельное научное и техническое направление, так же как и технология изготовления киноплёнок. Для разработчиков киносъёмочной аппаратуры объективы и киноплёнки, их размеры и характеристики, а также эксплуатационные требования стали исходными данными при разработке конструкций киноаппаратов. А основной задачей был выбор конструкции аппарата и расчёт размеров и взаимного расположения узлов и деталей, обеспечивающих прерывистое перемещение киноплёнки и периодическое экспонирование объективом кадров на киноплёнке во время её покоя в фильмовом канале. Разработчики киноаппаратуры искали компоновочные решения механизма аппарата, органов управления и контроля, обеспечивающие надёжность киноаппарата и удобство работы с ним.

В то время развитие теории проектирования киносъёмочной аппаратуры не представлялось самым акту-

альным. Основные научные исследования были направлены, прежде всего, на создание звукового, цветного и стереоскопического видов кинематографа, которые позволяли усилить воздействие кинофильмов на зрителей и предоставить творцам кинофильмов новые технические возможности реализации их творческих замыслов. Активно расширялась область смежных научных знаний, используемых при проектировании кинотехники, так как общее развитие науки и техники постоянно предоставляло новые идеи и технологии, позволявшие совершенствовать технические кинематографические системы. Вектор развития кинотехники был неразрывно связан с соответствующим расширением и углублением используемых научных знаний.

Разразившаяся Великая Отечественная война вынудила прекратить многие гражданские научные исследования, в том числе и в кинематографе. И только на рубеже 1940–1950-х годов расширение отечественного фильмопроизводства стимулировало выпуск киноаппаратуры, а, следовательно, и развитие теории киносъёмочной аппаратуры.



Сергей Михайлович Проворнов

ко-документальная, научная и т. д.), для проведения которых целесообразно было иметь специализированные киноаппараты, наиболее пригодные для условий таких видов киносъёмки. Поэтому расширялась номенклатура производимых киноаппаратов и в соответствии с новыми исходными требованиями развивалась теория киносъёмочной аппаратуры.

К 1950-м годам постоянное стремление к усилению воздействия кинофильмов на зрителей, к поиску новых изобразительных форм и средств привело к необходимости качественного улучшения технических характеристик киносъёмочной аппаратуры. Кроме того, зарождались новые виды кинематографа с новыми изобразительными возможностями – широкоэкранный и широкоформатный кино. Однако на теорию проектирования киносъёмочной аппаратуры эти изменения в кинематографе мало повлияли. Для реализации киносъёмки широкоэкранных фильмов достаточно было использовать анаморфотные объективы или насадки и дезанаморфотное визирное устройство, а для киносъёмки широкоформатных фильмов – перейти с 35-мм киноплёнки на 70-мм киноплёнку. Это не требовало развития теории проектирования киносъёмочной аппаратуры. Так, в киноаппаратах, снимающих на 70-мм киноплёнку, увеличились габариты киноаппарата, кор-

ректировались размеры узлов и деталей под 70-мм киноплёнку. В принципиальных теоретических методах расчёта киносъёмочного аппарата в изменениях не было необходимости.

На этом этапе наиболее существенным для отечественного киносъёмочного аппаратостроения оказалось не развитие науки, а организационные мероприятия – прежде всего, сосредоточение конструкторских сил, нацеленных на выполнение регулярных работ по проектированию новых и улучшению существующих киносъёмочных аппаратов. Поэтому в 1954 году в Москве и Ленинграде образованы специализированные конструкторские бюро (в дальнейшем преобразованные в МКБК и ЦКБК), перед которыми была поставлена задача разработки новых видов аппаратуры и оборудования для кинематографии [8].

Дальнейший прогресс в отечественной кинотехнике был невозможен без развития теории проектирования киносъёмочной аппаратуры. Поэтому в НИКФИ, ЛИКИ, ВГИКе, МКБК проводились всесторонние научные исследования. Ведущими учёными, такими как Евгений Петрович Бычковым (МКБК) [2], Евсей Михайлович Голдовским (ВГИК)[18], Иосиф Самуилович Голодом (ЛИКИ) [6], Игорь Борисович Гордийчуком (ЦСДФ)[9], Сергей Васильевич Кулагиним (МВТУ им. Н.Э. Баумана) [22], Арам Матвеевич Мелик-Степанян (ЛИКИ) [24], Сергей Михайлович Проворновым (ЛИКИ) [24, 31], Борис Иосифович Радчиком (МКБК) [32], Яков Моисеевич Толчаном (ВГИК) [43, 44] и др., к 1970 году опубликованы монографии и учебники по проектированию киноаппаратуры. Однако большинство перечисленных книг носит описательный характер, в них рассматриваются конструкции различных киносъёмочных аппаратов и их основные показатели [2, 6, 9, 32, 43, 44]. Такая традиция описания конкретных моделей киноаппаратов, конечно же, необходимая в первую очередь для кинооператоров, и только во вторую – для разработчиков киносъёмочной аппаратуры, продолжилась и позднее [10, 16, 28, 41].

Научных отечественных монографий по теории проектирования киносъёмочной аппаратуры ни до 1970 года, ни после не было. Теория излагалась только в учебниках. Это учебники А.М. Мелик-Степаняна и С.М. Проворнова

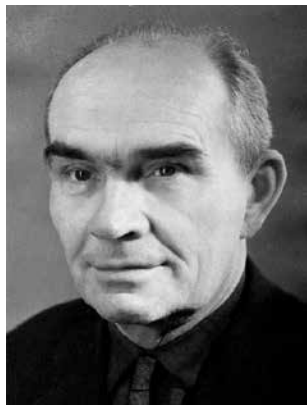


Московское конструкторское бюро киноаппаратуры

«Детали и механизмы киноаппаратуры» (последнее издание в 1980 году [25]), С.В. Кулагина «Проектирование фото- и киноприборов» (1976) [23], С.В. Кулагина и Е.М. Апарина «Проектирование фото- и киноприборов» (1986) [21].

При этом особо отметим учебник А.М. Мелик-Степаняна и С.М. Проворнова «Детали и механизмы киноаппаратуры». В учебники авторы подробно рассмотрели теорию проектирования основных узлов киносъёмочного аппарата (бобины, кассеты, ролики, фильмовые каналы, гладкие и зубчатые барабаны, стабилизаторы скорости движения киноплёнки, грейферные механизмы, устройства наматывания и разматывания киноплёнки, обтюратеры).

Наиболее системно разработанная к тому времени отечественная теория проектирования киносъёмочной аппаратуры была изложена в 1971 году Олегом Фёдоровичем Гребенниковым в учебнике «Киносъёмочная аппаратура» [11].



Евгений Петрович Бычков



Иосиф Самуилович Голод



Арам Матвеевич
Мелик-Степанян



Борис Иосифович Радчик

3 этап. Переход к сложным математическим моделям проектирования

Почти все применяемые с 1970-х годов методы расчёта основных узлов киносъёмочного аппарата базировались на геометрической оптике, графоаналитических методах расчётов узлов и на кинестатике движущихся элементов. Получаемая точность расчётов хотя и была невысокой, но вполне приемлемой для практики.

Однако уже в начале 1970-х годов возможности существовавшей в то время теории проектирования киносъёмочной аппаратуры исчерпали себя – теория отстала от требований дальнейшего развития киносъёмочной аппаратуры. Выходящие в свет монографии по киносъёмочной аппаратуре хотя и были полезными и необходимыми, но не соответствовали новым задачам, стоящим перед разработчиками. Поэтому конструкторы часто пытались повторить зарубежные аналоги, и вынуждены были многократно проверять конструкторские решения на действующих макетах, что существенно затягивало сроки разработки, повышало стоимость разработок и, как правило, не позволяло выйти на оптимальные решения.

Совершенствование киноаппаратуры могло продолжаться только за счёт комплексной оптимизации всех параметров киноаппарата.

Например, от уровня звука, излучаемого киносъёмочным аппаратом при киносъёмке, возможна ли одновременно с киносъёмкой чистовая запись фонограммы, или допустима только черновая, требующая последующего переозвучивания, или при киносъёмке записать звук не представляется возможным. Причинами возникновения звука при работе киносъёмочного аппарата, воспринимаемого как нежелательный шум, являются движущиеся при киносъёмке киноплёнка и детали киносъёмочного аппарата: рейфферный механизм, обтюратор, зубчатые и гладкие барабаны, наматыватели и т. д. Иными словами, основными причинами излучения звука являются:

- вибрации, генерируемые движением деталей;
- динамические нагрузки на движущиеся детали и их опоры;
- трение;
- воздушный шум, порождаемый перемещением киноплёнки;
- резонанс вибраций в деталях.

Для снижения уровня возникающих вибраций необходимо: уменьшать зазоры в сопрягаемых деталях; изготавливать, если это возможно, детали из эластичных материалов; проводить динамическую балансировку узлов и т. д. Сам принцип работы плёночного киносъёмочного аппарата, связанный с дискретизацией изображения по времени и записи на киноплёнке отдельных фаз киноизображения (отдельных кадров), приводит к тому, что киноплёнка в фильмовом канале должна перемещаться прерывисто: быть неподвижной во время экспонирования каждого кадра и прерывисто сдвигаться для подготовки нового участка киноплёнки к экспонированию. Поэтому рейфферный механизм всегда работает с преры-

вистой нагрузкой, а это означает, что его нельзя полностью динамически сбалансировать.

Следовательно, уровень звука, работающего киноаппарата, необходимо дополнительно снижать за счёт других средств, в том числе, звукопоглощения, виброизоляции и т. д.. Но применение таких средств приводит, во-первых, к увеличению массы аппарата, а, во-вторых, к ухудшению качества изображения из-за смещений оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя во время экспонирования кадра. Эти ухудшения возникают также в результате вибрационных колебаний механизма аппарата.

Поэтому при конструировании необходимо находить оптимальные значения следующих параметров:

- размеры и точность изготовления сопряжённых движущихся деталей и узлов с учётом их взаимодействия с киноплёнкой;
- форма, размеры, пространственное расположение и материал виброизоляторов;
- форма, размеры и материал корпусных деталей и т. д.

Для того, чтобы определять оптимальные значения этих параметров, необходимо было перейти к системному анализу и построению математических моделей, учитывающих взаимопротиворечивые факторы, влияющие на исследуемые характеристики киносъёмочного аппарата, и с помощью математического моделирования выполнять оптимизацию узлов и деталей киноаппарата [8, 39]. А это уже совершенно другой уровень теории проектирования киносъёмочной аппаратуры. И использование сложных математических моделей возможно только при наличии вычислительной техники.

Другой пример – расчёт обтюратора, который подразумевает расчёт размеров обтюратора, времени экспонирования, угла предварительного закрытия обтюратора и характеристики обтюрации. Методы расчёта обтюратора [11, 21, 23, 25], существовавшие к 3 этапу развития теории проектирования киносъёмочной аппаратуры, позволяли относительно точно рассчитать тонкий дисковый обтюратор, установленный перпендикулярно оптической оси объектива, да и то не всегда, поскольку в справочных параметрах киносъёмочных объективов не указывалось расположение выходного зрачка объектива и его максимальный размер. Для сложных конструкций обтюраторов, применяемых в новой киносъёмочной аппаратуре, погрешности расчётов по этим методам оказывались недопустимо большими. Поэтому требовался переход к математическому моделированию обтюратора, при котором создавалось трёхмерное математическое описание движения лопасти обтюратора, пересекающей пространственный световой поток, выходящий из объектива и сходящийся в любую конкретную точку кадрового окна либо в кадровое окно в целом. А это уже сложная математическая задача, решение которой требует знаний аналитической пространственной геометрии и интегрирования в частных производных по замкнутой поверхности [8, 33].

Таким образом, дальнейшее совершенствование киносъёмочной аппаратуры стало невозможным без математического системного анализа всех узлов и многих деталей киноаппаратов. Именно этому были посвящены разработки и исследования учёных с 1970-х годов. Однако переход от отдельных исследований к единой теории математического моделирования киносъёмочной аппаратуры не произошёл из-за сложности такой теории, а главное – из-за того, что в истории отечественной науки в области киносъёмочной техники, как, впрочем, и во многих других областях прикладных наук, наступил 4 этап развития – кризис отечественной отраслевой кинотехнической науки.

Во время 3 этапа развития теории киносъёмочной аппаратуры произошло становление новой теории преобразования сигналов изображения в кинематографе, которая в перспективе должна была соединиться с теорией киносъёмочной аппаратуры на новом научном уровне.

Теория преобразования сигналов изображения в кинематографе

В 1970-х годах стало очевидным, что дальнейшее развитие технических кинотехнологий и кинотехники, научная основа которых до этого базировалась на положениях геометрической оптики, достигла своего предела. Существовавшие представления о характере преобразований изображений в кинематографе, включая преобразование киноизображений в киносъёмочном аппарате, не соответствовали новому уровню проектирования киноаппаратуры, требовалось глубокое теоретическое переосмысление, без которого стало невозможным дальнейшее совершенствование кинотехники и создание новых кинематографических систем. Тогда учёные обратили своё внимание на смежные научные технические области.

Ещё в середине XX века были разработаны основы теории преобразования радиоэлектрических сигналов, в которой каждый элемент цепи формирования, передачи и воспроизведения радиосигналов рассматривается как фильтр радиосигналов. Эта теория успешно применяется при решении практических задач и сегодня.

Почти сразу выяснилось, что теоретические и практические методы, разработанные в радиоэлектронике, могут быть успешно применены и в оптике, если оптические системы рассматривать как пространственные фильтры оптического излучения.

В 1986 году за рубежом изданы две книги: J.W. Goodman «Introduction to Fourier optics» (Д. Гудмен «Введение в Фурье-оптику») и А. Papoulis «Systems and transforms with applications in optics» (А. Папулис «Теория систем и преобразований в оптике»), которые стали обобщённой системной основой теории преобразований сигналов в оптике. Издание этих книг способствовало существенному продвижению исследований в этом

направлении во всём мире. На рубеже 1960–1970-х годов книги Джозефа Гудмена и Атанасиоса Папулиса были переведены на русский язык и изданы в Советском Союзе [15, 27]. Дальнейшее развитие теории преобразований сигналов в оптике отражено в многочисленных научных работах, в том числе и в работах отечественных учёных (см., например, [1, 7, 20, 29]).

В 1970-х годах учёные стали оценивать возможность применения теории преобразования сигналов в кинематографе. «Это объясняется тем, что физические процессы, происходящие в радиоэлектронных приборах, близки процессам, осуществляемым в оптических, фотографических и кинематографических системах» [12]. Исследованиями в этом направлении занимались Мавр Васильевич Антипин, Олег Фёдорович Гребенников, Виктор Григорьевич Комар и многие другие отечественные учёные.



Олег Фёдорович Гребенников

На рубеже 1970–1980-х годов Олег Фёдорович Гребенников обобщил основы теории записи и воспроизведения изображений в кинематографе [12, 14], а Николай Константинович Игнатъев – методы теоретического исследования

систем непрерывно-дискретного преобразования во времени и в пространстве [17], берущие своё начало от работ выдающегося советского учёного Владимира Александровича Котельникова [19].

Дальнейшее развитие в нашей стране теории преобразования сигналов в кинематографе было связано прежде всего с деятельностью научной школы Олега Фёдоровича Гребенникова в Ленинградском институте киноинженеров. Результаты этой деятельности были отражены в учебном пособии Олега Фёдоровича Гребенникова и Галины Вениаминовны Тихомировой «Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике)» [13], вышедшем в свет в 2002 году, в монографии Г.В. Тихомировой «Физические основы получения зрительной информации» 2005 года издания [42] и в монографии И.В. Газеевой, С.А. Кузнецовой и Г.В. Тихомировой «Приборы и методы преобразования визуальной информации» 2021 года издания [3]. Популярное, доступное для специалистов с гуманитарным образованием изложение основ и практических приложений теории преобразования сигналов изображения в кинематографе в той части теории, которая необходима для понимания сущности происходящих при киносъёмке преобразований оптических изображений в цифровые сигналы изображений и возни-



Гребенников О.Ф. "Основы записи и воспроизведения изображения"

кающих при этом искажений, представлено в книге Олега Николаевича Раева «Формирование и преобразование изображений при киносъёмке» (2020 году) [40].

Отметим, что актуальность теории преобразования сигналов изображения в кинематографе сохраняется и сегодня.

4 этап. Кризис отечественной кинотехнической науки

В социалистической системе хозяйствования финансирование научных, проектных, конструкторских и производственных кинотехнических предприятий, а также потребителей профессиональной кинотехники – киностудий осуществляло министерство (в послевоенное время это было Министерство оборонной промышленности, затем с 1978 года Государственный комитет Совета министров СССР по кинематографии (Госкино) и с 1991 года Министерство культуры). Министерство разрабатывало перспективные отраслевые планы и увязывало по срокам и по объёмам кооперацию подведомственных предприятий. Все денежные средства предприятий находились в руках государства. Поэтому резкое прекращение координации и финансирования работ со стороны министерства в начале 1990-х годов привело к тому, что научные предприятия и конструкторские бюро, которые специализировались на научных исследованиях и разработках конструкций новой киноаппаратуры и модернизации существующей киноаппаратуры, оказались без собственного производства, не считая имевшейся у них базы опытного или штучного производства, а самое главное – без оборотных денежных средств, без которых выполнение научных исследований и конструкторских разработок просто невозможно. Сохранявшееся в виде государственных заказов со стороны министерства финансирование разработок профессиональной киносъёмочной аппаратуры было слишком мало и неуклонно снижалось из года в год.

В результате началось резкое свёртывание научно-исследовательских работ. Почти сразу после уничтожения СССР Научно-производственное объединение «Экран», которое специализировалось на разработке и выпуске профессиональной киноаппаратуры, распалось на самостоятельные предприятия. Из них Киевский, Одесский и Самаркандский заводы киноаппаратуры и Одесское конструкторское бюро киноаппаратуры (ОКБК) оказались в других государствах и очень быстро перестали существовать [35].

Центральное конструкторское бюро киноаппаратуры (ЦКБК), Московское конструкторское бюро киноаппаратуры (МКБК), Московский завод «Москинап», государственное предприятие «Опытное производство НИКФИ» пытались сохраниться как научно-производственные единицы, но вырванные из ранее замкнутой научно-производственной цепочки «научные исследования – разработка конструкторской документации – производство – киностудии», оказались в сложном экономическом положении и в конечном итоге Министерство культуры Российской Федерации, в чьём ведении были эти предприятия, их ликвидировало [35].

Научно-исследовательский кинофотоинститут (НИКФИ) потерял статус государственного научного института, став филиалом киностудии имени М. Горького и уже не выполняет своего предназначения – институт давно прекратил научную деятельность [26].

Заккрытие ведущих государственных кинотехнических предприятий привело к массовому безвозвратному исходу учёных и специалистов из кинотехнической отрасли в другие сферы деятельности. Развитие отечественной кинотехнической науки прекратилось, только отдельные учёные продолжали незначительную научную работу, чаще всего без всякой экспериментальной основы для своих исследований и в большинстве случаев без возможности внедрения результатов исследований.

Предполагаемое сохранение научной деятельности силами профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений страны также не оправдалось. Более того, постоянно сокращалась численность профессорско-преподавательского состава кинотехнического направления:

- Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения (бывший Ленинградский институт киноинженеров) репрофилирован с технических специальностей на творческие; в советское время ЛИКИ был единственным отечественным вузом, выпускавшим киноинженеров, но сегодня институт выпускает кино- и телеоператоров, кино- и телережиссёров, звукорежиссёров, продюсеров, кинодраматургов, киноведов, актёров, экономистов и т. д., а подготовкой инженеров по аудиовизуальной технике занимается только одна кафедра института;

- в августе 2013 года ликвидирован Московский кино-видеоинститут (филиал Санкт-Петербургского института кино и телевидения);

- летом 2018 года ликвидирована кафедра Аудиовизуальной техники и технических средств во Всероссийском государственном институте кинематографии имени С. А. Герасимова (ВГИК).

Результатом уничтожения государственной отечественной кинотехнической отрасли стало резкое сокращение передовых разработок и научных исследований в области перспективных кинотехнологий.

Те, кто принимал решения о ликвидации кинотехнической отрасли, либо полагали, что для отечественного кинематографа не нужна отечественная кинотехника и кинотехнологии, поскольку качественную аппаратуру и программное обеспечение всегда можно приобрести за рубежом, либо наивно считали, что государству не надо заниматься кинотехнической отраслью, так как рынок сам всё определит, найдутся или самостоятельно образуются частные отечественные производители кинотехники и кинооборудования. Но эти государственные чиновники не понимали и не понимают специфики кинотехнической науки и сложнейшей профессиональной кинотехники, в которой уже в то время сочеталась прецизионная механика, высокоточная оптика и передовая электроника, а также не понимали, что с нуля конкурировать с международными ки-

нотехническими гигантами невозможно. Поэтому частные кинотехнические предприятия появились, но их слишком мало и сами они слишком малы, а разрабатываемые ими изделия не являются ключевыми в кинематографическом процессе, да и выпускаются штучно. И на возрождение отечественной кинотехнической отрасли и, соответственно, кинотехнической науки они никак не влияют.

5 этап. Современное состояние

Весь мировой кинематограф в XXI веке перешёл с плёночных кинотехнологий на цифровые. А это возможно было только в результате развития в передовых странах кинотехнической науки, которая привлекла научные и технические достижения из дискретной математики, вычислительной техники, программирования.

В таких обстоятельствах, при отсутствии отечественной кинотехники, российское кинопроизводство, чтобы сохраниться, стало работать на импортной кинотехнике. Можно констатировать, что сегодня в стране есть достаточное для существования российского кинематографа количество необходимой ему кинотехники и кинотехнологий для всех этапов кинематографического процесса: от киносъёмки до кинопоказа. При этом подавляющая часть имеющейся в стране кинотехники, которая эксплуатируется или которую можно приобрести или взять в аренду, зарубежного производства. То же самое и с программным обеспечением, которое почти всё импортное. Но что будет завтра, если профессиональная кинотехника и программные продукты попадут в санкционные списки?

Собственной кинотехнической отрасли в стране нет, как нет и научной основы для её возрождения – современной отечественной кинотехнической науки. Доступные переводные книги не являются современными научными монографиями, в основном переводятся учебные

пособия или популярные издания по эксплуатации импортной техники и по работе с зарубежными программными продуктами. Редкие современные отечественные научные статьи по кинотехнике являются работами, исследующими отдельные частные вопросы, и никак не могут претендовать на системную теорию.

По мнению авторов данной статьи только теория преобразования сигналов изображений в кинематографе продолжает развиваться современными отечественными учёными (см., например, [3, 34, 36–38]).

Заключение

В стране отсутствует современная кинотехническая наука, которая позволила бы организовать разработку и производство современных конкурентоспособных киносъёмочных аппаратов. Разрабатывать на современном техническом уровне цифровые киноаппараты при отсутствии соответствующей научной поддержки не представляется возможным.

Авторы считают, что единственным путём изменения положения может быть создание нового государственного образовательного учреждения высшего образования по подготовке инженеров в области аудиовизуальной техники, составной частью которой является и кинотехника, или возрождение технического факультета (например, в СПбГИКиТ), в Москве и/или в Санкт-Петербурге. Такое учебное заведение должно взять на себя не только образовательные функции, но и научно-исследовательские, организационные, просветительские и другие функции. Научной основой деятельности учебного заведения может стать теория преобразования сигналов изображений в аудиовизуальной технике с творческим развитием этой теории на проектирование и изготовление отечественной кинотехники. ■

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Аблеков В.К., Зубков П.И., Фролов А.В. Оптическая и оптоэлектронная обработка информации. Москва: Машиностроение, 1976. 256 с.
- Бычков Е.П. Киносъёмочная аппаратура. Москва: Искусство, 1960. 64 с.
- Газева И.В., Кузнецов С.А., Тихомирова Г.В. Приборы и методы преобразования визуальной информации. Санкт-Петербург: СПбГИКиТ, 2021. 301 с.
- Головя Е.В. Курс киносъёмочной аппаратуры. Москва: Госкиноиздат, 1938. 364 с.
- Головя Е.В. Советская киносъёмочная аппаратура. Москва: Госкиноиздат, 1939. 168 с.
- Голод И.С. Киносъёмочная аппаратура. Москва: Госкиноиздат, 1951. 192 с.
- Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. Москва: Радио и связь, 1985. 312 с.
- Гордеев В.Ф., Раев О.Н. История российской кинотехники: Московское конструкторское бюро киноаппаратуры. Москва: МКБК, 2009. 136 с.
- Гордийчук И.Б. Советская киносъёмочная аппаратура. Москва: Искусство, 1966. 320 с.
- Гордийчук И.Б. Советская киносъёмочная аппаратура / 2-е изд., доп. Москва: Искусство, 1974. 352 с.
- Гребенников О.Ф. Киносъёмочная аппаратура / под ред. С.М. Проворнова. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1971. 352 с.
- Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе): учебное пособие для вузов кинематографии. Москва: Искусство, 1982. 239 с.
- Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУКиТ, 2002. 712 с.
- Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображения. Ленинград: ЛИКИ, 1977–1978. (Вып. 1. Дискретизация изображений. Вып. 2. Пространственные преобразования изображения. Вып. 3. Запись и воспроизведение цветного изображения.)
- Гудмен Д. Введение в Фурье-оптику. Москва: Мир, 1970. 364 с.
- Ершов К.Г. Киносъёмочная техника / под науч. ред. С.М. Проворнова. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. 271 с.
- Игнатьев Н.К. Дискретизация и её приложения. Москва: Связь, 1980. 264 с.
- Киносъёмочная техника / под общ. ред. Е.М. Голдовского. Москва: Госкиноиздат, 1952. 452 с.
- Котельников В.А. О пропускной способности «эфир» и проволоки в электросвязи // Всесоюзный энергетический комитет. Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. По радиосвязи. Москва: Управление связи РККА, 1933. С. 1–19.
- Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображения. Москва: Связь, 1986. 248 с.
- Кулагин С.В., Аларин Е.М. Проектирование фото- и киноприборов. Москва: Машиностроение, 1986. 278 с.
- Кулагин С.В. Киносъёмочная и кинопроекторная аппаратура. Москва: Высшая школа, 1967. 239 с.
- Кулагин С.В. Проектирование фото- и киноприборов. Москва: Машиностроение, 1976. 304 с.
- Мелик-Степанян А.М., Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. Москва: Искусство, 1959. 432 с.
- Мелик-Степанян А.М., Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры: Учебник. Ленинград: ЛИКИ, 1980. 520 с.
- Научно-исследовательский кинофотоинститут. Сайт: НИКФИ. [Электронный ресурс]. URL: <http://nikfi.ru/> (дата обращения: 12.10.2021).
- Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике / пер. с англ.; под ред. В. И. Алексеева. Москва: Мир, 1971. 495 с.
- Поддубицкий В.Н. Киносъёмочная аппаратура. Москва: ВГИК, 2009. 223 с.
- Порфирьев Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах. Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. 387 с.
- Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. Ленинград: ЛИКИ, 1938.
- Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. Москва: Госкиноиздат, 1947. 296 с.
- Радчик Б.И. Киносъёмочные аппараты и опоры к ним // Киносъёмочная техника / Под ред. Е.М. Голдовского. Москва: Госкиноиздат, 1952. С. 298–390.
- Раев О.Н. Методика проектирования обтюраторов киносъёмочных аппаратов. Москва: НИКФИ. Вып. 5(112). 1989. 80 с.
- Раев О.Н. Особенности записи внеосевых точек изображения при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя // Мир техники кино. 2019. №1(13). С. 19–23.
- Раев О.Н. Отечественная кинотехника: состояние и перспективы // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: VIII Международная научно-практическая конференция. Москва, 24 сентября, 20–22 октября 2021 г.: Материалы и доклады / под общ. ред. О.Н. Раева. Москва: ИПП «КУНА», 2022. С. 21–29.
- 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.
- Раев О.Н. Преобразование оптического изображения с периодическим изменением освещенности в кадре матрицей фото- и киноаппарата // Мир техники кино. 2018. №3(12). С. 11–17.
- Раев О.Н. Разрешающая способность матриц фото- и киноаппаратов // Мир техники кино. 2018. №2(12). С. 3–8.
- Раев О.Н. Требования к параметрам систем виброизоляции механизма киносъёмочного аппарата // Техника кино и телевидения. 1985. №7. С. 10–15.
- Раев О.Н. Формирование и преобразование изображений при киносъёмке. Чебоксары: АО «Чувашия», 2020. 263 с.
- Соломатин С.А., Артишевская И.Б., Гребенников О.Ф. Профессиональная киносъёмочная аппаратура. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1990. 287 с.
- Тихомирова Г.В. Физические основы получения зрительной информации. Санкт-Петербург: СПбГУКиТ, 2005. 148 с.
- Толчан Я.М. Киносъёмочная аппаратура. Москва: Искусство, 1968. 256 с.
- Толчан Я.М. Киносъёмочная аппаратура / под общ. ред. Л.В. Косматова. Москва: Госкиноиздат, 1950. 231 с.