

# Мир Кино

## ТЕХНИКИ

ЯНВАРЬ-МАРТ | 1(19)-2011 |

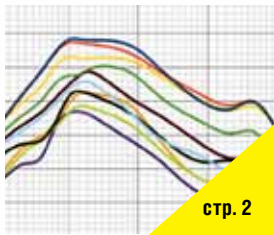
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ | ОАО «НИКФИ» | ООО «ИПП «Куна» | Подписной индекс: 81923 в каталоге Роспечати



**70**  
летию

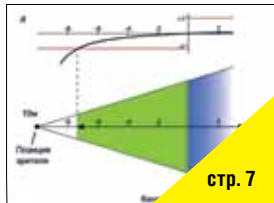
**НАЧАЛА  
РЕГУЛЯРНОГО ПОКАЗА  
СТЕРЕОФИЛЬМОВ  
в России**





стр. 2

## № 19 СОДЕРЖАНИЕ



стр. 7

### Вопросы теории

А.В. Авдеев, Ш.Я. Вахитов

**Исследование экспоненциальных и конических рупорных громкоговорителей и создание метода их проектирования. Часть вторая**

2



стр. 16

Н.Н. Васильева, Г.И. Рожкова, С.Н. Рожков

**О пользе и вреде современных технологий формирования стереокиноизображений для людей с различным состоянием зрительных функций**

7

### Технологии

В.В. Савченко

**Биоадаптивные технологии в цифровом формате**

16

Т.А. Трубникова, Д.А. Храмов, К.К. Гудинов

**Оценка воспроизводящих свойств телефаксимильной (фототелеграфической) аппаратуры**

19



стр. 33

А.О. Борисанова, С.Б. Одинокоев

**Измерение амплитудно-фазовой модуляционной характеристики жидкокристаллического модулятора света, используемого в системе голографической памяти**

23

### Страницы истории кино

Н.А. Майоров

**Становление и развитие отечественного стереокино**

33

#### 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](http://www.elibrary.ru)

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»  
Выходит 4 раза в год  
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»  
Учредители: ОАО «НИКФИ», ООО «ИПП «КУНА»  
при поддержке Министерства культуры Российской Федерации

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:  
Копошилова Мария Васильевна  
Корректор:  
Сайкина Наталья Владимировна

Редакционный совет:  
Комар В.Г., проф., д.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Белоусов А.А., проф., д.т.н., СПбГУКиТ  
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГУКиТ  
Сакварелидзе М.А., д.х.н., МКВИ  
Тимофеев А.Е., к.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Ковалевская Н.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Перегудов А.Ф., к.т.н., СПбГУКиТ  
Блохин А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Лишин Л. Г., к.т.н., ВНИИТР  
Барский И.Д., к.т.н., ОАО «Кинотехника»  
Одинокоев С.Б., к.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Раев О.Н., к.т.н., МКБК  
Волков А.С., Министерство культуры РФ

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»  
Объём 6,5 п.л. Заказ № 162.  
Тираж 1100 экземпляров.

Свидетельство о регистрации  
СМИ-ПИ № ФС77-28384 от 23 мая 2007 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 не всегда совпадает со взглядами авторов статей.

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



# Исследование ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ И КОНИЧЕСКИХ РУПОРНЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ и создание метода их проектирования

А.В. Авдеев, аспирант,  
Ш.Я. Вахитов, д.т.н.,  
профессор, СПбГУ КиТ



## 2. Экспериментальное исследование направленности экспоненциальных и конических рупорных громкоговорителей

### Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментального исследования характеристик направленности для экспоненциальных и конических рупорных громкоговорителей с различной длиной и образующей, но с одинаковым выходным отверстием. По результатам эксперимента проводится сравнительный анализ полученных характеристик направленности для рупоров. Показан характер влияния на направленность длины и формы образующей рупора.

**Ключевые слова:** направленность, характеристика направленности, экспоненциальный рупор, конический рупор, фронт волны, длина рупора, образующая, волна, угол раскрытия, звуковое давление

■ Отличительной особенностью рупорных громкоговорителей (РГ) является их острая характеристика направленности (ХН), которая сохраняется практически во всём воспроизводимом диапазоне частот. Первое использование рупора, как простейшего усилителя звука в морском деле, обязано именно этому концентрирующему свойству. Согласно существующим теоретическим положениям, направленность излучения рупора напрямую зависит от размеров его выходного отверстия. Это, казалось бы, вполне очевидное положение. Однако, если это так, то направленность не должна зависеть ни от длины рупора, ни от формы его образующей, а только от размеров устья (выходного отверстия). К тому же, эффективность излучения теоретически также зависит в основном от размеров выход-

EXPERIMENTAL STUDY OF DIRECTIONALITY OF EXPONENTIAL AND CONICAL HORN LOUDSPEAKERS

A. Avdeev, Ch. Vakhitov

### Abstract

The article presents the results of a pilot study the directional characteristics for the exponential and conical horn loudspeakers of different lengths and generatrix with the equal outlet port. According to the results of the experiment is carried out a comparative analysis of directional characteristic. Showing influence of length and generatrix of the horn on the directionality.

**Keyword:** directionality, directional characteristic, exponential horn, conical horn, wave front, length of the horn, generatrix, wave, angle of disclosing, sound pressure

ного отверстия, когда отражением волны внутрь рупора можно пренебречь, т.е. на тех частотах, где диаметр выходного отверстия сопоставим с длиной волны [2]:

$$\frac{\pi D}{\lambda} > 1 \quad (1)$$

Выполнение этого условия определяет достаточно высокую направленность РГ даже в области относительно низких частот. С повышением же частоты направленность должна ещё более обостряться.

Волна, распространяющаяся в коническом рупоре, представляет собой часть шаровой волны, ограниченной поверхностью рупора. При достаточно большом волновом размере выходного отверстия фронт волны будет



оставаться в пределах угла раскрытия конуса, который по этой причине будет определять и угол направленного действия рупора [3].

Серия поставленных опытов, описываемых в статье, носит цель определить – действительно ли направленность и эффективность излучения зависят только от размеров устья и не зависят от длины и формы его образующей.

Используя те же самые шесть макетов рупоров (три экспоненциальных и три конических), подробно описанных в работе [1], исследуем их направленность. Для всех шести рупоров геометрические размеры выходного отверстия, площадью  $S_1 = 0,25 \text{ м}^2$ , одинаковы, и по форме составляют квадрат со стороной  $d_1 = 0,5 \text{ м}$ . Однако, для всех рупоров различен закон изменения сечения, т.е. формируемый рупором волновой фронт. Таким образом, исследовав направленность этих шести макетов, можно будет сделать соответствующие выводы по особенностям формирования рупором волнового фронта.

Для применяемых макетов (длина стороны квадрата сечения устья 0,5 м) из выражения (1) получим следующее значение частоты, начиная с которой излучение станет эффективным: 210 Гц. Это значение лежит ниже эффективно воспроизводимого диапазона частот для всех рупоров, следовательно, размеры выходного отверстия достаточны для анализа направленности по всему воспроизводимому частотному диапазону.

Также отметим углы раскрытия конических рупоров для переднего полупространства (рис. 1). Полный угол раскрытия составит для соответствующих трёх длин следующие значения: 46, 60 и 70 градусов.

Как и при эксперименте с «критической частотой» [1], были использованы те же излучающие головки со всеми изготовленными макетами. Измерительный микрофон располагался в звукомерной заглушенной камере на стойке, после выравнивания его оси направленности с центральной излучающей осью рупора, его положение не изменялось. РГ располагался в метре от измерительного микрофона на поворотном столе, притом плоскостью своего выходного отверстия на оси вращения поворотного стола, посередине.

При проведении этого эксперимента поочередно снимался набор АЧХ, получаемый при изменении направления рупора: угол изменялся от 0° до 90° через 15 градусов, от 90° до 180° – через 30 градусов,

для каждого макета рупора с обеими головками. На излучающие головки подавалось звуковое напряжение, соответствующее электрической мощности 1 Вт.

Так как все макеты имеют выходное отверстие в форме квадрата, то направленность по обеим плоскостям (горизонтальной и вертикальной) будет одинаковой.

Результатом эксперимента стал набор из десяти АЧХ, для каждого макета с двумя головками. Всего было получено 12 таких общих семейств характеристик. Пример совместных АЧХ можно увидеть на рис. 2.

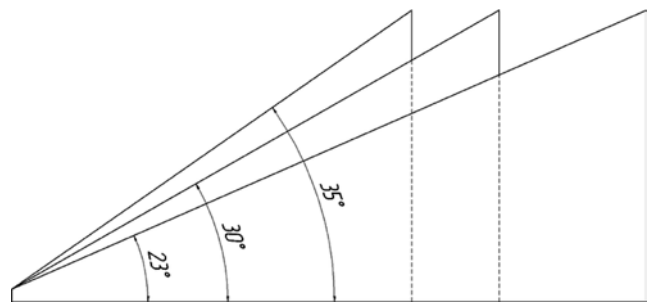


Рис. 1. Углы раскрытия конических рупоров в переднем полупространстве

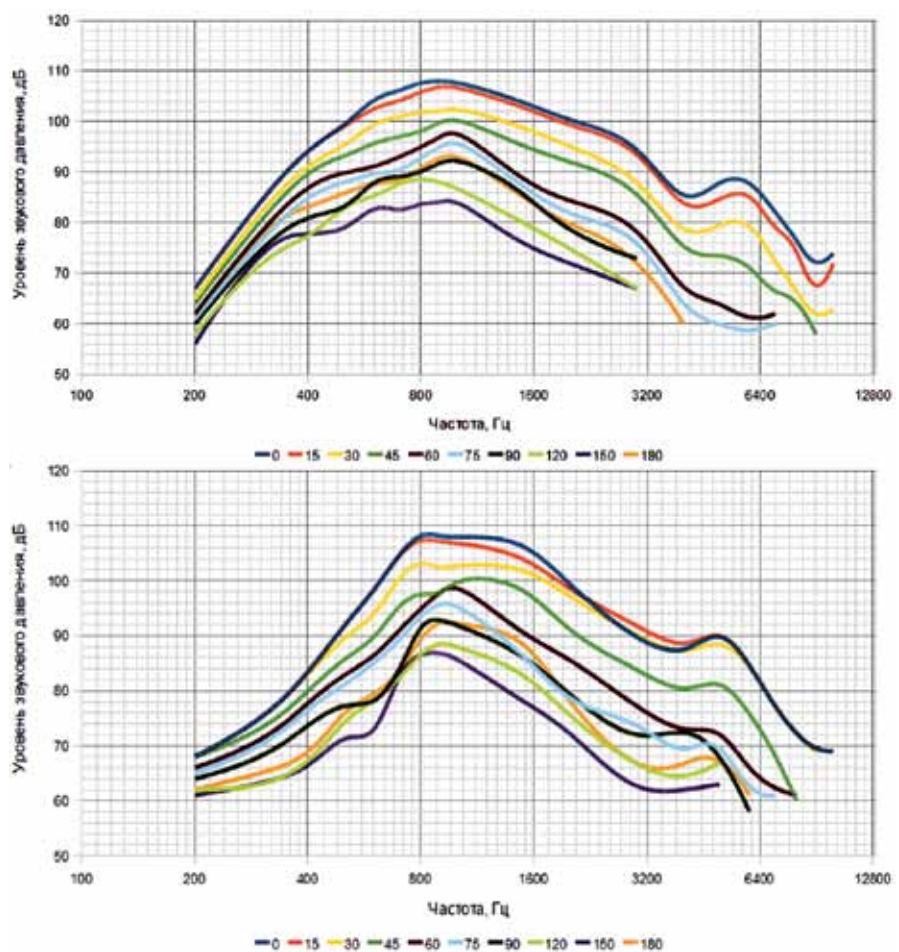


Рис. 2. Набор АЧХ для макета экспоненциального (верхний) и конического (нижний) рупоров длиной 0,482 м («критической частотой» 350 Гц) и головкой от 12ГР-38М

На этом этапе, по всем построенным АЧХ следует отметить ряд особенностей:

- при изменении угла довольно равномерно изменяется средний уровень звукового давления практически во всей области частот (за малым исключением, т.е. в нижней октаве (200–400 Гц), пример на рис. 2);
- для головки I от 12ГР-38М наблюдается область провала АЧХ в районе 2000–3000 Гц у рупоров с коническим профилем, которая с уменьшением длины рупора становится более выраженной;
- для головки II от 8-РД наблюдается провал АЧХ на 1500 Гц для экспоненциального профиля, который с уменьшением длины рупора также становится более выраженным.

По всем снятым АЧХ были составлены таблицы со значениями уровней звукового давления на дискретных частотах при каждом угле. Для осевого излучения макетов рупоров с головкой от 12ГР-38М и частот, используемых в приведённых далее ХН, значения уровней звукового давления представлены в табл. 1, где а) – уровень осевой характеристической чувствительности для экспоненциальных рупоров, б) – для конических.

Перейдя от уровней к звуковому давлению в Паскалях, были построены и проанализированы ХН нормированных значений давлений (к осевому) по следующему принципу:

1) изменение ХН с увеличением частоты.

На рис. 3, 4 и 5 показано, как изменяется направленность рупорных громкоговорителей с увеличением частоты, для макетов экспоненциальных (а) и конических (б) рупоров с длинами: 0,482 м, 0,337 м и 0,24 м, при использовании головки от 12ГР-38М. Направленность построена для частот: 300 (рис. 3), 400 (рис. 4 и 5), 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Для конических рупоров на рисунках дополнительно жирным пунктиром отображены углы их раскрытия в переднем полупространстве.

По приведённым ХН на рис. 3–5 в табл. 2 отмечен угол, направленность при котором характеризуется спадом уровня звукового давления на 6 дБ.

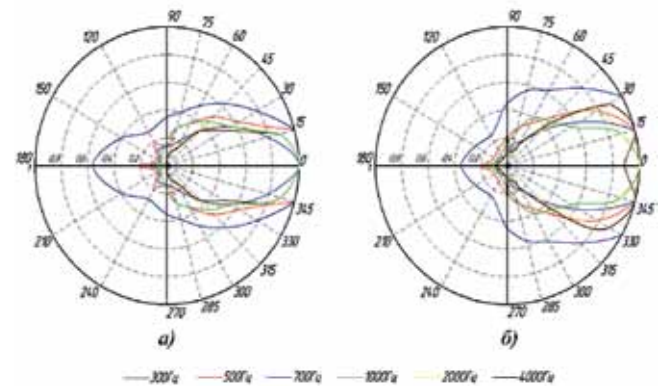


Рис. 3. Изменение направленности с увеличением частоты для рупоров длиной 0,482 м:

а) – экспоненциальные; б) – конические рупора

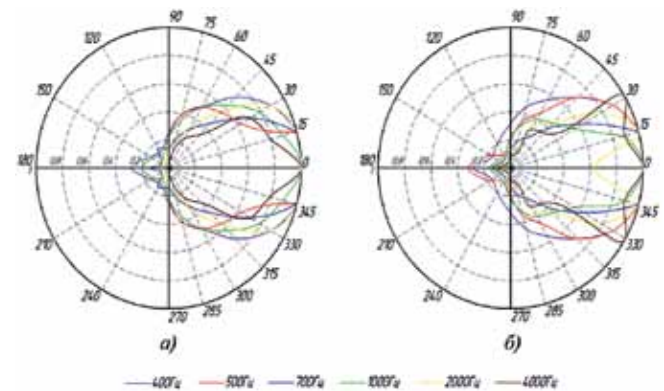


Рис. 4. Изменение направленности с увеличением частоты для рупоров длиной 0,337 м:

а) – экспоненциальные б) – конические рупора

Табл. 1. Значения уровней звукового давления для экспоненциальных и конических рупоров

Частота – f, Гц	300	400	500	1000	2000	4000
$I_1 = 0,482 (f_{кр} = 350 \text{ Гц}):$						
а) N, дБ	85	95	99	108	100	82
б) N, дБ	74	83	92	108	99	86
$I_2 = 0,337 (f_{кр} = 500 \text{ Гц}):$						
а) N, дБ	75	88	98	107	96	80
б) N, дБ	72	81	87	107	90	85
$I_3 = 0,24 (f_{кр} = 700 \text{ Гц}):$						
а) N, дБ	70	82	87	106	97	79
б) N, дБ	70	79	84	105	90	85

Как видно, достаточно острую и почти постоянную направленность рупоры имеют на всех частотах. Наблюдается некоторая тенденция её обострения с повышением частоты, что качественно согласуется с теоретическими предпосылками [2].

По результатам общего анализа всех полученных ХН (с обеими головками) при увеличении частоты можно отметить:

- ХН самого длинного экспоненциального рупора изменяется менее значительно, оставаясь достаточно острой даже на треть октавы ниже «критической частоты» 350 Гц;
- экспоненциальные рупоры с меньшими длинами (0,337 м и 0,24 м) имеют существенное расширение своей направленности в НЧ-области;
- уменьшение длины конических рупоров приводит к равномерному и незначительному расширению их направленности во всём диапазоне частот.

2) изменение направленности при уменьшении длины рупора на отдельных частотах.

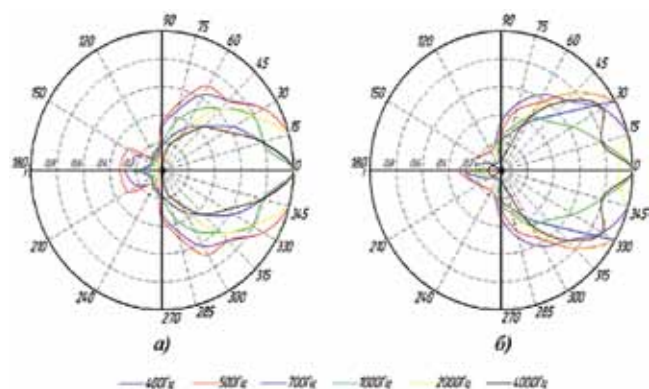


Рис. 5. Изменение направленности с увеличением частоты для рупоров длиной 0,24 м:

а) – экспоненциальные; б) – конические рупора

Были построены ХН на отдельных частотах 400, 700, 1000, 2000 Гц для всех шести макетов на одном бланке с головкой 12ГР-38М (рис. 6). Сплошными линиями обозначены ХН экспоненциальных рупоров, пунктирными – конических. Анализируя их, можно заметить следующее:

- уменьшение длины рупора даёт незначительное расширение ХН на всех частотах и при обоих профилях расширения;

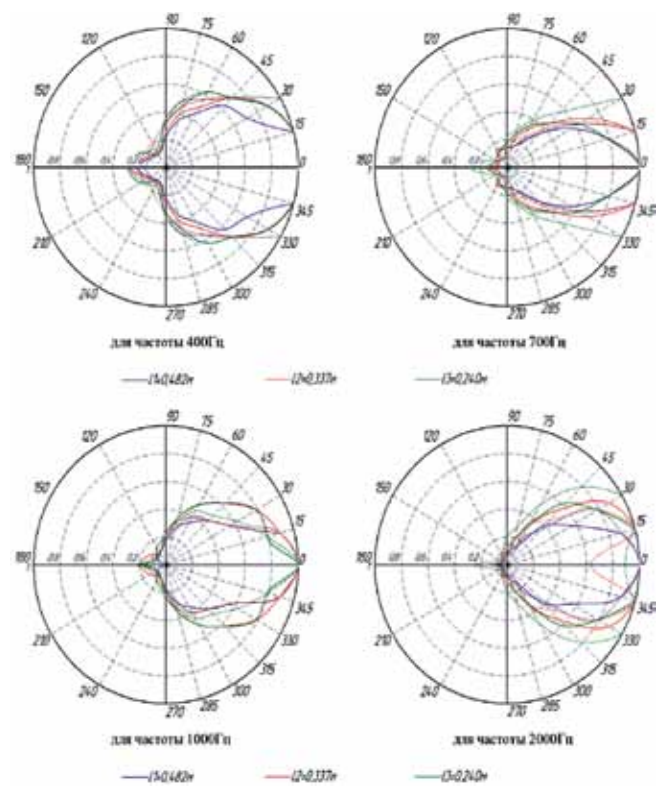


Рис. 6. Изменение направленности с уменьшением длины рупора на отдельных частотах: сплошная линия – экспоненциальные; пунктирная – конические

Табл. 2. Значения характеристик направленности РГ

Частота – f, Гц	300	400	500	1000	2000	4000
$l_1 = 0,482 (f_{кр} = 350 \text{ Гц}):$						
а) экспоненциальные	60°	-	45°	38°	35°	30°
б) конические	83°	-	45°	37°	39°	42°
$l_2 = 0,337 (f_{кр} = 500 \text{ Гц}):$						
а) экспоненциальные	-	60°	60°	60°	49°	37°
б) конические	-	68°	56°	37°	41°	33°
$l_3 = 0,24 (f_{кр} = 700 \text{ Гц}):$						
а) экспоненциальные	-	70°	75°	60°	52°	37°
б) конические	-	75°	68°	45°	60°	57°



- ХН у экспоненциальных рупоров несколько острее, чем у конических аналогичной длины;
- при уменьшении длины экспоненциального рупора его направленность на отдельных частотах изменяется неравномерно, а именно: направленность самого длинного рупора всегда острее, и обострение при уменьшении длины с повышением частоты уменьшается;
- при уменьшении длины конического рупора его направленность на отдельных частотах обостряется более равномерно, чем у экспоненциального.

Следует также отметить тот факт, что для двух испытываемых головок в сочетании с коническими рупорами значения давлений в области частот 1500–3000 Гц, при углах 15 и 30 градусов выше осевого (рис. 6, для частоты 2000 Гц).

Для полученных экспериментальных данных дополнительно было произведено сравнение с более ранними экспериментальными ХН для экспоненциальных рупоров, упоминаемых в литературе [5]. В приведённых в данной литературе ХН показано изменение направленности в зависимости от соотношения длины волны на «критической частоте» к диаметру устья и от соотношения диаметра устья к излучаемой длине волны. Для общих случаев результаты показаны в табл. 3, где а) – соотношение давления под определённым углом ( $p'$ ) к давлению по оси ( $p^0$ ) для данных литературы [5], б) – для данного проведённого эксперимента с макетами экспоненциальных рупоров и головкой I от 12ГР-38М.

Из табл. 3 видно, что полного соответствия результатов обоих экспериментов нет, однако есть сохранение общей тенденции изменения направленности. Довольно близки значения соотношений давлений для рупора наибольшей длины при всех значениях угла, как для низкой – 500 Гц, так и для высокой – 2000 Гц, частот. Для самого короткого рупора направленность на 1000 Гц вышла чуть более широкой, чем в литературных данных [5], на 2000 Гц – очень близкая по форме (с характерным слабонаправленным участком от 0 до 30 градусов).

### Выводы

1. Угол раскрытия конуса макетов конических рупоров определяет угол их направленного действия, что подтвердилось проведённым экспериментом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев А.В., Вахитов Ш.Я. Экспериментальное исследование критической частоты экспоненциального рупорного громкоговорителя. ООО "ИПП "Куна", МТК, № 18, с. 2–5, 2010.
2. Ковалгин Ю.А., Вахитов Ш.Я., Фадеев А.А., Щевьев Ю.П. Акустика. Учебник для вузов. М., Горячая линия – Телеком, 2009.
3. Вахитов Я.Ш. Электродинамические громкоговорители. Теория расчёта. Л., ЛИКИ, 1983.
4. Вахитов Ш.Я., Смирнова Н.А. Электродинамические громкоговорители. Расчёт и проектирование. Л., ЛИКИ, 1984.
5. Иофе В.К., Корольков В.Г., Сапожков М.А. Справочник по акустике. М., Связь, 1979.

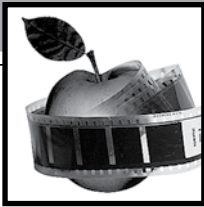
Табл. 3. Сравнительные значения характеристик направленности РГ

$f_{кр} = 350 \text{ Гц, частота } 500 \text{ Гц}$							
угол	0	15	30	45	60	75	90
а) $p'/p^0$	1	0,92	0,76	0,58	0,40	0,30	0,26
б) $p'/p^0$	1	1	0,63	0,50	0,35	0,28	0,14
$f_{кр} = 350 \text{ Гц, частота } 2000 \text{ Гц}$							
а) $p'/p^0$	1	0,80	0,68	0,30	0,16	0,10	0,08
б) $p'/p^0$	1	0,89	0,56	0,40	0,16	0,11	0,07
$f_{кр} = 700 \text{ Гц, частота } 1000 \text{ Гц}$							
а) $p'/p^0$	1	0,92	0,64	0,42	0,32	0,26	0,22
б) $p'/p^0$	1	0,89	0,79	0,63	0,50	0,35	0,20
$f_{кр} = 700 \text{ Гц, частота } 2000 \text{ Гц}$							
а) $p'/p^0$	1	1	1	0,72	0,46	0,36	0,30
б) $p'/p^0$	1	1	0,79	0,63	0,32	0,18	0,09

2. Угол направленного действия экспоненциальных рупоров меньше (ХН острее), чем у конических соответствующей длины, что говорит об иной форме их волнового фронта.

3. Уменьшение длины экспоненциального рупора также вызывает изменение волнового фронта, вследствие чего ХН расширяется.

4. Полученные в результате проделанной экспериментальной работы выводы и закономерности по формированию ХН рупорными излучателями важны для дальнейшего их теоретического осмысления. ■



# О ПОЛЬЗЕ И ВРЕДЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТЕРЕОКИНОИЗОБРАЖЕНИЙ для людей с различным состоянием зрительных функций



Н.Н. Васильева, к.б.н., ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, г. Чебоксары,  
Г.И. Рожкова, д.б.н., ИППИ им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва,  
С.Н. Рожков, зав. лаб. стереокинематографа ОАО «НИКФИ», г. Москва

## Аннотация

Обсуждаются проблемы восприятия стереокинофильмов людьми с различным состоянием зрительных функций. Анализ физиологии зрительного процесса и результатов анкетирования зрителей позволяет заключить, что просмотр стереофильма продолжительностью около полутора часов, снятого, смонтированного и продемонстрированного с учётом особенностей работы механизмов стереозрения в условиях кинозала, не должен вызывать дискомфорта и избыточного утомления у лиц с нормальным во всех отношениях бинокулярным зрением. Без учёта этих особенностей стереофильмы могут быть вредными и для таких людей, вызывая напряжение в глазах, усталость, головную боль, головокружение, тошноту, психологический стресс. Людям с сильно нарушенными бинокулярными функциями – например, постоянным косоглазием – просмотр стереофильма не нанесёт вреда, но и не даст возможности ощутить стереоэффект; при этом изображение на экране может восприниматься без двоения только в стереочках. Наибольшую потенциальную опасность стереоформат, по-видимому, представляет для людей с нарушениями отдельных бинокулярных механизмов, что встречается примерно у 10% населения, и для пациентов с излечимыми бинокулярными расстройствами, проходящих курс по восстановлению и развитию бинокулярных функций.

**Ключевые слова:** стереокинематограф, 3D формат, пространственное восприятие, зрительный дискомфорт, зрительная усталость, нарушения бинокулярных функций.

ON THE GOOD AND HARM FROM THE MODERN TECHNOLOGIES OF CREATING CINEMATOGRAPHIC STEREOIMAGES FOR THE PEOPLE WITH DIFFERENT STATES OF VISUAL FUNCTIONS

*N. Vasilyeva, G. Rozhkova, S. Rozhkov*

## Abstract

Some issues concerning perception of cinematographic stereoimages in the people with different states of visual functions are discussed. From the physiological analysis of the visual process and questioning the spectators, it follows that if the stereoscopic film lasted one and a half hour and had been created, edited and demonstrated correctly taking into account the peculiarities of the stereovision mechanism functioning in conditions of the movie theater, it should not cause discomfort and excessive fatigue in people with normal binocular vision. However, the stereofilms created without considering these peculiarities could be harmful even for such people causing eye tension, fatigue, headache, dizziness, nausea, psychological stress. For the people with severe binocular dysfunctions – for instance, with steady strabismus, – viewing stereofilm should do neither harm nor the possibility of getting stereoeffect; however, to avoid double images, one should wear stereoglasses. Evidently, one could expect the most noticeable potential harm from the 3D format for the individuals with mild impairments of binocular mechanisms constituting about 10% of population and for the people with curable binocular dysfunctions currently undergoing treatment.

**Keywords:** stereocinematography, 3D format, spatial perception, visual discomfort, visual fatigue, binocular dysfunctions



## ■ Введение

Современные стереотехнологии (3D) достигли такой степени развития и доступности, что становится неизбежным их широкое внедрение в образовательную, развлекательную и бытовую сферы, в спорт и в искусство [5, 8, 16, 18, 21]. В сравнении с обычными, стереоскопические изображения имеют значительные преимущества, создавая эффекты присутствия и вовлечённости в пространство наблюдаемой картины, облегчая функционирование механизмов интерпретации изображений, пространственного зрения и константности восприятия.

К настоящему моменту уже имеются достаточно совершенные 3D разработки: цифровые технологии для съёмки фильмов в 3D формате, рассчитанные на демонстрацию стереофильмов в кинозалах, по телевизионным каналам и на дисплеях мобильных телефонов; 3D телевизоры, 3D мониторы, 3D проекторы; шлемы виртуальной реальности; спортивные и учебные 3D тренажёры с обучающими программами на основе наиболее эффективных приёмов профессионалов экстракласса; 3D принтеры, позволяющие «печатать» трёхмерные изделия из пластика и других материалов. Достоинства и преимущества 3D формата были высоко оценены массовым зрителем, который в большинстве своём с энтузиазмом встретил стереофильмы, созданные на основе современных технологий, и ждёт новых и новых фильмов, которых не хватает, в связи с чем в настоящее время стала очень востребованной конвертация обычных 2D киноизображений в 3D формат [14]. В то же время у части людей во время сеансов стереоскопических фильмов появляется напряжение в глазах, зрительный дискомфорт, головокружение, тошнота и другие неприятные ощущения, что порождает опасения по поводу возможности возникновения стойких негативных воздействий 3D продукции на зрение и нервную систему. Обозначенная проблема не нова, ею был озабочен ещё Луи Люмьер, открывший стереокинотеатр в Париже в 1935 г. В последние десятилетия всё больше внимания уделяется специальным исследованиям факторов, вызывающих зрительный дискомфорт при просмотре стереокинофильмов и стереовидеоизображений, и определению границ зоны физиологического комфорта по разным параметрам. В 2009 г. был опубликован обзор соответствующих работ применительно к стереоскопическим дисплеям [16]. В наших предыдущих публикациях данная проблема также обсуждалась [2, 9, 11, 12]. Анализ имеющихся публикаций даёт основания заключить, что при соблюдении определённых правил 3D формат позволяет оставаться в достаточно широкой зоне комфорта в плане физиологии зрения.

Причины затруднений и дискомфорта при восприятии стереофильмов могут иметь разную природу, и их можно подразделить на четыре типа:

- *недостатки контента* – неправильно выбранные параметры стереосъёмки, стереоскопические ошибки, неоправданно короткие монтажные планы, низкое каче-

ство перевода 2D изображений в 3D, чрезмерная продолжительность фильма и др.;

- *неудовлетворительное качество демонстрации стереофильма* – низкий уровень яркости экранного изображения, недостатки системы сепарации изображений стереопары, неправильные границы зоны зрительских мест и др.;
- *отсутствие навыков восприятия продукции 3D формата у пользователя;*
- *нарушение определённых зрительных функций.*

Ощущение дискомфорта и усталости глаз резко усиливается при сочетании двух или более перечисленных причин.

Устранение причин увеличенной нагрузки на зрительную систему, обусловленных качеством контента и условиями демонстрации стереофильма, на современном этапе существенно облегчается благодаря цифровым компьютерным технологиям. Эти технологии позволяют трансформировать в нужные форматы стереокиноматериалы, полученные по различным системам, и сильно облегчают корректировку стереоскопических параметров в кадрах фильма, содержащих ошибки. Уменьшению дискомфорта и усталости глаз зрителей должно способствовать также накопление опыта съёмки стереофильмов и опыта грамотной организации стереокинотеатра. Но так как эти процессы идут недостаточно быстро, необходимо в первую очередь поставить заслон некачественной стереокинопродукции, как это уже делается в некоторых странах.

## Границы зоны физиологического комфорта при восприятии стереофильмов

Во всех работах, касающихся процесса восприятия стереофильмов, подчёркивается, что этот процесс имеет ряд существенных отличий от процесса рассматривания естественного окружения. В естественных условиях сетчаточные изображения рассматриваемых реальных объектов определяются направлением взгляда и оптикой глаз наблюдателя и, теоретически, меняются в точном соответствии с движениями глаз и сменой аккомодации. В условиях кинозала параметры и динамика сетчаточных изображений виртуальных объектов в значительной степени независимы от зрителя, что может порождать несогласование между аккомодацией и вергенцией, положением точки фиксации и степенью расфокусировки деталей, движениями головы и относительным смещением изображений разноудалённых объектов и т.п. Отсутствие полной согласованности всех сигналов затрудняет интерпретацию информации, поступающей в мозг от сетчаток двух глаз, а также от глазодвигательной и аккомодационной систем, что может вызвать напряжение зрительных механизмов, ощущение неустойчивости видимых образов, зрительный дискомфорт и зрительно-вестибулярные иллюзии. Искусство создания грамотных стереофильмов состоит в минимизации указанных противоречий, сведении их до приемлемого уровня, близко-

го к уровню естественных рассогласований, возникающих из-за наличия нейронного шума и неизбежных ограничений в чувствительности и быстродействии, присущих всем зрительным механизмам.

Сравнительный анализ процессов рассматривания естественных и виртуальных зрительных сцен позволяет выявить существование достаточно широкой зоны физиологического комфорта, в пределы которой должны «вписываться» искусственные сцены, формируемые создателями стереофильмов. Здесь нужно подчеркнуть, что и в естественных условиях зрения точное согласование всех параметров настройки на фиксацию определённой точки зрительной сцены наблюдается очень редко. Например, хорошо известно, что аккомодация обычно не вполне соответствует конвергенции (феномен отставания аккомодации), а при попытке фиксировать некоторую точку зрительные оси глаз редко сходятся точно на ней (фиксационная диспаратность). Эти и другие рассогласования присутствуют в нормальном зрительном процессе постоянно, поэтому само по себе наличие неполного соответствия сигналов зрительной, глазодвигательной и аккомодационной систем в процессе восприятия стереофильмов не является для зрительной системы чем-то необычным. Важно лишь сделать степень несоответствия близкой к естественной.

В последнее время все исследователи сходятся на том, что для стереофильмов установление разумных нормативов на пределы рассогласования между аккомодацией и конвергенцией не сильно ограничивает возможности передачи трёхмерной формы объектов и протяжённости сцен по глубине. Дело в том, что при экранных параллаксах обоих знаков, не превышающих  $1^\circ$ , рассогласование между аккомодацией и конвергенцией не вызывает дискомфорта [11, 16], а такой диапазон экранных параллаксов обеспечивает достаточно большую протяжённость виртуальных сцен по глубине (рис. 1). Например, для зрителя, находящегося от экрана на расстоянии 10 м, зона комфортного восприятия в заэкранном пространстве простирается до бесконечности, а в предэкранном пространстве имеет протяжённость более 7 м (рис. 1, а). Если зритель приблизится к экрану до 5 м, расчётная протяжённость предэкранной зоны комфорта составит около 3 м, а заэкранная зона останется неограниченной (рис. 1, б). Ограничение заэкранной зоны комфорта будет заметно проявляться только при расстояниях менее 3 м. В кинотеатрах (с большими экранами) такие расстояния недопустимы, но обсуждаемые закономерности распространяются и на малые экраны, поэтому на рис. 1, в для примера показан вариант расположения зрителя на расстоянии 2 м от телеэкрана. В этом случае глубина предэкранной зоны комфорта составляет всего 0,7 м, а заэкранной – около 2,3 м.

Приведённые на рис. 1, а и в графики показывают, какие значения экранных параллаксов имеют виртуальные объекты, располагающиеся в изображаемой сцене на разных расстояниях от экрана; горизонтальными крас-

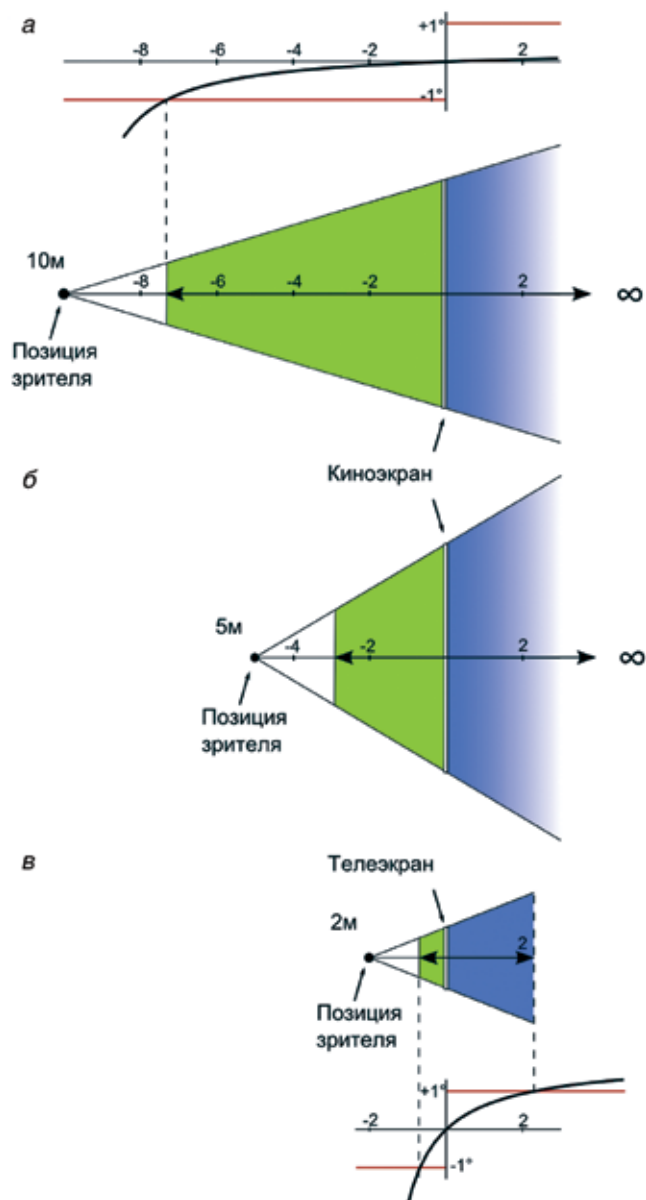


Рис. 1. Протяжённость виртуальных сцен по глубине, соответствующая зоне физиологического комфорта по степени рассогласования аккомодации и вергенции

ными линиями обозначены  $1^\circ$ - уровни, определяющие границы зоны комфорта. Подчеркнём, что речь здесь идёт о физиологическом комфорте (отсутствии напряжения и неприятных ощущений), а не о восприятии глубины зрителем. На каких уровнях глубины (расстояниях от зрителя или экрана) будут восприниматься объекты с разными экранными параллаксами – это отдельный вопрос, и ответ на него требует учёта дифференциальных порогов глубины, влияния рамки экрана, а также особенностей изображаемой сцены [1].

Все современные стереосистемы, за исключением голографических, предусматривают сепарацию левого и правого изображений, но она нередко бывает неполной и может приводить к нечёткости и двоению образов. Некоторые авторы полагают, что добавление в данный ка-

нал до 20% сигнала из парного канала несущественно для стереовосприятия [20], однако пока нет достоверных данных, позволяющих нормировать эту величину для кинозалов, в которых стереокинопроекция обеспечивает воспринимаемую яркость стереоизображения, равную норме яркости для обычного плоскостного киноизображения.

Впечатления зрителя о любом фильме в той или иной степени зависят от его места в кинозале. Как отмечал ещё в 1960 г. Е.М. Голдовский, анализируя процесс восприятия обычных фильмов, «эффективность воздействия на зрителя демонстрируемого в кинотеатре фильма во много раз увеличивается, если изобразительно-иллюстративные средства не расходятся с привычными для человека представлениями об окружающем нас мире» [3]. Исходя из этого, он рассчитывал оптимальное положение зрительского места в кинозале и показывал, что приближение от этого места к экрану, равно как и удаление от него, ведут к специфическим искажениям воспринимаемой формы, удалённости и скорости движения объектов. Очевидно, что это верно и в отношении 3D формата, причём требования к ограничению зоны зрительских мест тут более жёсткие.

Хорошо известно, что в естественных условиях зрения при формировании видимых образов специфические бинокулярные механизмы «берут в расчёт» не только геометрическую диспаратность, кодирующую относительное расположение объектов по глубине, но и различия левого и правого сетчаточных изображений по яркости или несинхронность их изменений во времени [10]. Локальные различия по яркости характерны для восприятия глянцевых поверхностей и прозрачных предметов, а различия сетчаточных сигналов по временной динамике часто возникают в условиях наблюдения нескольких движущихся объектов. К примеру, если человек следит за неким объектом, движущимся в поперечном направлении на определённой глубине, то второй объект, перемещающийся через поле зрения на другой глубине, будет пересекать зрительные оси левого и правого глаза со сдвигом во времени, зависящим от скоростей движения и расстояний.

Возникающие из-за аппаратных погрешностей различия в яркости левого и правого изображений могут исказить траектории движения (эффект Пульфриха), а несинфазность предъявления изображений стереопары может приводить к возникновению псевдостереоэффекта в отдельных участках изображения или к полному разрушению стереоэффекта. Хотя быстрое действие современных 3D систем теоретически позволяет в большинстве случаев избегать заметных временных артефактов, полностью исключить их появление пока не удаётся. Зрительный дискомфорт, связанный с неадекватной яркостной и временной диспаратностью, может иметь место и внутри зоны комфортного наблюдения, определяемой допустимыми рассогласованиями аккомодации, вергенции и диспаратности, так что устранение такого дискомфорта – это отдельная задача.

### Значение навыков восприятия стереоскопических изображений

Необходимость приобретения навыков – общее условие нормальной работы зрительной системы, т.к. без достаточного зрительного опыта человек не может адекватно воспринимать даже реальные объекты в естественных условиях наблюдения.

При восприятии фильмов 2D и 3D форматов зрительная система должна идти на компромиссы, игнорируя как отличия поступающих зрительных сигналов от «естественных» (т.е. порождаемых реальными объектами), так и некоторые рассогласования с обычным опытом. При просмотре 2D фильмов для восприятия объёмности и глубины зрители научились опираться на такие признаки, как геометрическая и воздушная перспектива, светотень, градиент текстуры и др. При восприятии фильмов 3D формата нужно настроиться на другой лад – взять за основу восприятия глубины экранный параллакс. Люди не отдадут себе отчёта в том, что соответствующий механизм стереопсиса они много лет подавляли или отключали в кинозале, поскольку он мешает созданию иллюзии пространственного восприятия при просмотре 2D фильмов: результаты работы этого механизма должны свидетельствовать о том, что все наблюдаемые объекты сцены – плоские и распластаны по экрану. Практика показала, что в отношении степени лёгкости отключения и включения механизма бинокулярного стереосинтеза имеются большие различия: одни зрители легко переходят к новому формату, другие привыкают к нему постепенно. Чтобы не было разочарования, до первого посещения стереокинотеатра будущему зрителю не мешает проверить себя и потренироваться в восприятии стереофотографий, книг с анаглифическими стереоиллюстрациями и альбомов с «магическими» картинками – автостереограммами, основанными на сочетании принципа случайно-точечных стереограмм и иллюзии обоев.

### Особенности восприятия стереофильмов людьми с различными нарушениями зрения

Важно подчеркнуть, что при широком внедрении в кинематограф стереотехнологий человеку очень полезно обладать информацией о состоянии своего зрения, чтобы в случае возникновения неприятных ощущений во время или после просмотра стереофильма было легче выявить причины возникновения дискомфорта или усталости глаз. Миллионы людей в мире имеют нарушения зрительного аппарата [4], которые проявляются не только в ухудшении качества сетчаточных изображений и снижении остроты зрения, но и в расстройствах зрительных механизмов, обеспечивающих совместную переработку информации, поступающей от двух глаз, и имеющих непосредственное отношение к характеру и качеству восприятия стереофильмов.

Ещё в фундаментальной работе Б. Юлеша, посвящённой исследованию чисто бинокулярного механизма стереопсиса при помощи случайно-точечных стереограмм



[15], были приведены данные исследований бинокулярных механизмов у студентов, свидетельствующие о том, что 10–15% молодых людей имеют скрытые дефекты бинокулярного зрения, которые часто, особенно при нормальной остроте зрения, остаются незамеченными. Позднее было обнаружено, что механизмы стереопсиса, ответственные за анализ диспаратностей разного знака (т.е., применительно к киноэкрану, положительных и отрицательных экранных параллаксов), могут быть развиты у человека в разной степени, и их функционирование может нарушаться независимо друг от друга [18]. Например, встречаются случаи, когда люди затрудняются в оценке расположения объектов по отношению к фону при положительных экранных параллаксах, тогда как с восприятием отрицательных параллаксов у них нет проблем. Более того, есть сообщения о весьма экзотических нарушениях бинокулярного зрения, когда фузионные механизмы отказываются работать при определённом угле поворота головы [16]. Очевидно, что для людей с такими нарушениями выбор места в кинозале слева или справа от центра может оказаться критическим для восприятия стереоизображений.

Причиной нарушений бинокулярных механизмов могут стать любые асимметрии, аномалии развития и заболевания, приводящие к неравноправию левого и правого зрительных каналов или дисбалансу в работе нервного аппарата управления согласованными движениями двух глаз. Даже временные расстройства зрения в раннем детстве могут привести к стереослепоте. В связи с этим комплексная оценка зрения человека должна включать обязательное измерение не только остроты зрения и рефракции, но и как минимум таких показателей бинокулярного зрения, как острота стереозрения, фузионные резервы и скорость бинокулярной интеграции.

Очевидно, что способность к восприятию глубины на основе бинокулярной диспаратности должна снижаться при снижении остроты зрения хотя бы одного из глаз: для определения диспаратности нужно сравнивать два изображения, и ухудшение качества даже одного из них затрудняет этот процесс. Конкретные данные по зависимости остроты глубинного зрения от остроты зрения худшего глаза были получены ещё в 1947 г. Г.А. Литинским [6], который оценил остроту глубинного зрения у 106 человек с нормальной остротой зрения одного глаза и сниженной (0,1–0,9) – у второго. Использованный для этой цели прибор проверяли ранее на сотнях лиц с нормальной остротой зрения; средний порог восприятия сдвига по глубине при расстоянии 5 м составил 21 мм. В зависимости от остроты зрения худшего глаза были получены следующие средние значения порогового сдвига по глубине:

0,1 – 135 мм (8 чел.)	0,4 – 68 мм (8 чел.)	0,7 – 41 мм (14 чел.)
0,2 – 86 мм (9 чел.)	0,5 – 63 мм (8 чел.)	0,8 – 28 мм (21 чел.)
0,3 – 70 мм (8 чел.)	0,6 – 45 мм (8 чел.)	0,9 – 26 мм (22 чел.)

Г.А. Литинский сделал вывод, что при остроте зрения худшего глаза 0,1–0,2 глубинное зрение очень плохое, при 0,3–0,5 – посредственное, при 0,6–0,7 – хорошее и при 0,8–0,9 – отличное. Пересчитывая данные Литинского в угловые единицы, получаем: порог для нормы 21 мм – это 11", что довольно хорошо согласуется с данными других авторов, а порог 135 мм при остроте зрения худшего глаза 0,1 – это 66", т.е. более 1', что считается критерием стереослепоты.

Если учесть, что созревание различных зрительных механизмов с возрастом происходит не одновременно, и на процесс их становления влияют разные факторы, которые могут оказывать не только положительное воздействие, то среди населения можно ожидать большого разнообразия индивидуальных вариантов состояния зрительных функций.

Корректируемые аномалии рефракции – миопия (близорукость) и гиперметропия (дальнейзорукость), не должны создавать специфических затруднений (в смысле психофизиологии зрения) при восприятии стереокино- и стереовидеопродукции. Разумеется, смотреть на экран нужно в своих привычных корректирующих очках, иначе пространственные эффекты будут ослаблены, так как они зависят от остроты стереозрения, которая, в свою очередь, зависит от качества сетчаточных изображений, снижающегося при наличии ошибок рефракции. Определённые неудобства может создавать необходимость надевания стереочков поверх корректирующих, что, помимо всего прочего, увеличивает общее давление оправы на переносицу и уши. По этой причине при просмотре стереофильмов для оптической коррекции миопии предпочтительнее использовать контактные линзы. В настоящее время контактными линзами пользуется значительный процент молодых людей с близорукостью, которым очки создают неудобства в работе, мешают заниматься спортом или создают психологический дискомфорт. Очевидно, что для повышения комфорта просмотра любители стереофильмов могут надевать обычные дневные контактные линзы подходящего типа. С другой стороны, можно попробовать применить метод ортокератологической терапии (ОТ-терапии) – временной коррекции аномалий рефракции за счёт действия специальных ночных контактных линз, которые утром снимаются. Хорошего зрения должно хватать до глубокого вечера. По имеющимся данным, ОТ-терапия эффективна при близорукости до 6–7 диоптрий в возрасте от 5 до 55 лет. Верхняя возрастная граница определяется состоянием слёзного аппарата.

Часть офтальмологов высказывает опасение, что просмотр стереофильмов может создавать повышенные нагрузки у лиц с гетерофорией (мышечным дисбалансом) – скрытым косоглазием. Для этого дефекта характерно отклонение зрительных осей от правильного положения не в обычных

условиях освещения, а лишь в темноте или при искусственном «разобщении глаз» – когда каждому из глаз предъявляется своё изображение, и у них нет единого объекта для зрительной фиксации. Гетерофория встречается достаточно часто [13], но может проявляться не во всех ситуациях, а только при настройке на близкие (гетерофория для близи) или далёкие (гетерофория для дали) расстояния.

Опасение офтальмологов основано на том, что стереоскопические очки действительно позволяют каждому глазу видеть (выбирать) только предназначенное ему изображение из двух, предъявляемых на экране. Однако в данном случае это не означает, что глаза оказываются «разобщёнными»: в отличие от тестов для измерения гетерофории, выявляющих установку осей глаз на основе окуломоторных сигналов в отсутствие возможности фиксации общего зрительного стимула, два изображения кинематографической стереопары обычно имеют множество общих фрагментов, которые могут использоваться для коррекции позиций глазных осей на основе зрительных сенсорных сигналов, как и в естественных условиях наблюдения. Таким образом, в принципе, специфических отличий процесса просмотра качественных стереофильмов от процесса рассматривания естественных сцен у людей с гетерофорией быть не должно. Однако, в специальной работе, посвящённой изучению скорости восприятия глубины, Г.А. Литинскому удалось подметить замедление восприятия глубины не только у лиц, имеющих сниженную остроту зрения хотя бы одного глаза, но, что особенно любопытно, и у лиц с нормальной остротой зрения, обнаруживающих некоторый дисбаланс в ориентации зрительных осей при зрении вдаль (гетерофорию для дали) [7]. Насколько это влияет на восприятие стереофильмов, пока не исследовалось. Предварительные данные опроса лиц с гетерофорией показывают, что они могут и не испытывать затруднений с 3D форматом.

Лицам с явным постоянным косоглазием, в принципе, нет смысла идти в стереокинотеатр, так как при просмотре стереофильма никакого усиления пространственных впечатлений они не ощутят и никаких стереоскопических спецэффектов не увидят. Однако не надо забывать о ранимости детей, необходимо учитывать психологический момент: дети с косоглазием часто не хотят выделяться из массы сверстников и оказываются в стереокино вместе с друзьями, имеющими нормальное зрение.

Если у человека постоянное или альтернирующее косоглазие, просмотр фильмов 3D формата в стереоочках для него не должен заметно отличаться от ситуации наблюдения естественных зрительных сцен. В норме мы смотрим на мир двумя глазами, на сетчатках которых мы имеем пару изображений объектов рассматриваемой сцены с небольшими различиями, определяемыми базисом зрения. Человек с косоглазием в каждый момент рассматривает интересующие объекты ведущим глазом,

а вторым глазом смотрит в сторону. Значит, в условиях кинотеатра у него на сетчатке ведущего глаза будет изображение рассматриваемой сцены, соответствующее тому, что было бы в естественных условиях или близкое к нему, а на сетчатке отклонённого глаза – парное изображение, сдвинутое от зрительной оси на угол, соответствующий углу косоглазия. Но и в естественных условиях зрения имеет место точно такая же ситуация. Так что никаких специфических трудностей тут ждать не приходится. Однако к определённым неприятностям всё же надо подготовиться: к необходимости надеть стереоочки, которые не будут давать эффекта, но снять которые нельзя, и к сниженной в несколько раз яркости изображения из-за разделения светового потока на 2 канала, и дополнительных потерь в светофильтрах стереоочков. К сожалению, воспринимаемая зрителем в стереоочках яркость значительно – в разы – занижена в большинстве функционирующих сейчас стереокинозалов – но это отдельная проблема.

Если человек с косоглазием снимет стереоочки, он каждым глазом будет видеть двойные изображения, предназначенные для раздельного предъявления левому и правому глазу, и будет испытывать сильнейший дискомфорт. Впрочем, и человек с нормальным зрением будет себя чувствовать дискомфортно в условиях такого двоения изображений. Исключение составляют фрагменты стереофильмов, которые фактически соответствуют 2D формату, так как изображают предметы на очень большом удалении, где бинокулярная диспаратность уже не может использоваться для определения различия по глубине, а потому все экранные параллаксы близки к нулю, и два изображения сливаются. В этой зоне «работают» монокулярные факторы глубины и объёмности – геометрическая и воздушная перспектива, светотень, перекрывание одних объектов другими и др.

### Результаты анкетирования и устного опроса зрителей

Для анализа впечатлений зрителей от просмотра стереофильмов при современном уровне качества 3D контента и организации показа нами было проведено социологическое исследование – путём устного опроса и анкетирования. Анкеты можно было заполнять на бумаге или в интернете (адрес сайта: <http://www.iitp.ru/3d>). Респондентам предлагалось высказать общее впечатление от просмотра стереофильма и охарактеризовать своё состояние (степень усталости глаз, наличие головокружения, головной боли, неприятных ощущений). Также важным для нас было мнение о качестве изображения и особенностях его восприятия (уровне яркости, наличии двоения, заметности мельканий изображения).

В опросе приняли участие 110 человек в возрасте от 7 до 77 лет. Большинство опрошенных респондентов посмотрели более одного стереофильма, среди которых были «Аватар», «Алиса в стране чудес», «Шрек», «По-

велитель стихий», «Шевели лапами», «Рапунцель», «Хроники Нарнии» и др. Несомненно, картине «Аватар» принадлежит наибольшая заслуга в привлечении внимания к стереофильмам на данном этапе. С точки зрения стереографии, фильм сделан достаточно грамотно, и у большинства зрителей почти не вызывает утомления, несмотря на большую продолжительность (более 2,5 часов).

Результаты анкетирования показали, что в целом стереофильмы позитивно восприняты как взрослой, так и детской (7–16 лет) аудиторией, причём большинство респондентов оценило своё впечатление от фильмов как «отличное» и «хорошее» (табл. 1). Как видно из таблицы, из всех 110 опрошенных своё впечатление оценили как «отличное» 52% зрителей; «хорошее» – 41%; «среднее» – 5%; «плохое» – 1%; «очень плохое» – 1%.

Табл. 1. Результаты анкетирования

	Взрослые (n = 90)		Дети (n = 20)	Все зрители (%)
	Абс.	%	Абс.	
<b>Общее впечатление:</b>				
отличное	39	43	18	52
хорошее	44	49	1	41
среднее	5	6	1	5
плохое	1	1	-	1
очень плохое	1	1	-	1
<b>Степень усталости глаз:</b>				
никакой усталости	46	51	17	57
заметная усталость	41	46	3	40
сильная усталость	3	3	-	3
<b>Оценка яркости:</b>				
«яркость хорошая»	50	55	18	62
«хотелось бы поярче»	35	39	2	33
«изображение очень тёмное»	5	6	-	5
<b>Наличие желания идти на стереофильмы снова:</b>				
«да»	85	94	19	95
«нет»	5	6	1	5

При переводе оценок, характеризующих «общее впечатление» в пятибалльную шкалу, средняя оценка качества стереоизображения у взрослой аудитории составила 4,3 балла – голубой столбик диаграммы, а детской – 4,9 балла – сиреневый столбик (рис. 2). Эти данные согласуются с оценками, полученными зарубежными авторами в пилотном исследовании восприятия качества изображений на стереоскопических дисплеях, основанных на поляроидном методе сепарации (жёлтый столбик) [21].

Баллы

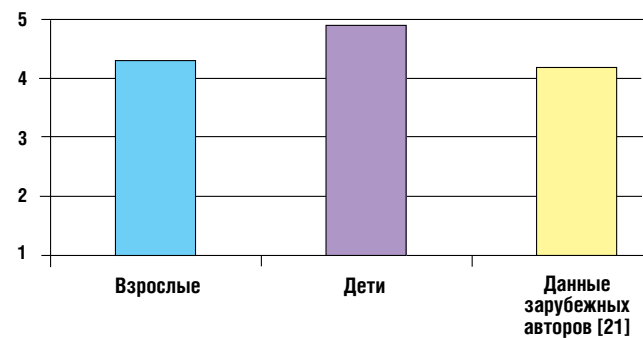


Рис. 2. Средние оценки качества стереофильмов

Конечно, число детей, участвовавших в анкетировании, было невелико, поэтому полученную для них среднюю оценку нельзя считать показательной. Более того, есть основания думать, что для детей мы получили завышенную оценку, так как вовлечь в тестирование удаётся в основном наиболее развитых и любознательных детей, уже интересовавшихся 3D технологиями и имевшими положительный опыт восприятия. Однако, это не столь бесспорно: наша работа с детьми детсадовского возраста (5–6 лет) и студентами (18–22 лет) по исследованию восприятия автостереограмм («магических картинок») показала, что процент детей, воспринимающих такие изображения без обучения или быстро обучающихся, намного больше, чем среди молодых взрослых людей. Может показаться, что здесь есть противоречие: получается, что часть детей, потенциально способных к восприятию автостереограмм, с возрастом эту способность утрачивает. Тем не менее, это вполне возможно, так как данная способность связана с переключением внимания на восприятие глубины по диспаратности, а с возрастом, в отсутствие тренировки, возможности переключения могут снизиться.

По оценкам состояния после просмотра фильма показатели взрослой и детской аудитории несколько различались. Большинство детей отметили отсутствие усталости глаз (17 из 20), головной боли и каких-либо неприятных ощущений (19 из 20). Во взрослой аудитории число случаев отсутствия усталости глаз и её наличия (в разной степени) было примерно одинаковым (51% против 49%), при этом у нескольких респондентов возникли головная боль и головокружение во время просмотра стереофильма (13%).



Объясняя причины усталости, респонденты связывали её в основном с технической стороной демонстрации. Так, среди факторов, вызвавших усталость, многими отмечены давление очков, слишком высокое и близкое расположение экрана, большое количество динамических сцен и высокая скорость перемещения объектов, из-за которой при коротком монтаже возникали дискретность восприятия и общий дискомфорт. При этом ни один из опрошенных не предположил возможной взаимосвязи усталости глаз с особенностями собственного зрения. Некоторые респонденты отметили наличие мельканий изображения (14%) и его двоения в отдельных эпизодах (около 30%); 38% опрошенных хотели бы увеличить яркость изображения. Многие проявили понимание причин дискомфорта и возможности с ним справиться (надеть контактные линзы, пойти в другой кинотеатр, выбрать другое место в зале и т.д.).

Для анализа особенностей восприятия фильмов в 3D формате лицами с разными показателями функционирования зрительной системы мы провели у части опрошенных оценку остроты зрения, рефракции, фузионных резервов, скорости бинокулярной интеграции. Сопоставление результатов измерения зрительных функций с данными, полученными в ходе анкетирования, позволяет нам сделать ряд выводов. Среди лиц с недостаточным развитием отдельных зрительных функций, при схожести показателей, взрослые чаще испытывают дискомфорт, чем дети. Это является дополнительным подтверждением большей гибкости зрительных механизмов у детей и их большей готовности к принятию виртуальной реальности. Лица с высокими значениями остроты зрения (1,0 ед. и выше), хорошо развитыми фузионными резервами и высокой способностью к бинокулярной интеграции, как правило, не отмечали никаких ухудшений своего состояния за время сеанса. Единственное, что они обозначили в плане неудобства для восприятия – это то, что уже отмечалось выше – тесная оправа очков и быстрые динамические сцены в отдельных эпизодах, вызывающие ощущение двоения изображения. Среди лиц со сниженной остротой зрения, но хорошими фузионными резервами было больше положительных отзывов и меньше случаев усталости и других неприятных ощущений, чем среди лиц с низкими показателями фузионных резервов, а также с разницей в остроте зрения двух глаз. Кроме того, респонденты, имеющие умеренные (некритические для восприятия стереоизображений) нарушения со стороны зрительных функций и просмотревшие более одного стереофильма, отметили, что их состояние во многом зависело от продолжительности сеанса. В том случае, если продолжительность демонстрации фильма не превышала 1–1,5 часа, впечатления были отличными, и заметной усталости не ощущалось. У трёх детей, испытывавших дискомфорт во время просмотра стереофильма, показатели остроты зрения находились в пределах возрастных норм, однако у них были недостаточно раз-

виты фузионные резервы и снижена способность к бинокулярной интеграции.

Подводя итоги проведённого анкетирования, следует отметить, что, несмотря на наличие определённых неудобств и зрительного дискомфорта (многим мешали очки, хотелось увеличить яркость, иногда возникало двоение, ощущалась дискретность при быстрых движениях и т.п.), 95% опрошенных выразили общий позитивный настрой и готовность ходить на стереофильмы. В связи с полученными данными мы не видим никаких оснований для панических заявлений о вреде 3D фильмов для массового зрителя. Подчёркнём, что мы имеем в виду просмотр стереофильмов, снятых, смонтированных и демонстрируемых с учётом особенностей стереовосприятия в условиях кинозала. А авторы панических заявлений, как правило, не понимают принципиальной разницы между разными типами и условиями использования 3D продукции и приводят данные о патологических состояниях, возникающих во время активных игр, работы на тренажёрах или при неконтролируемом домашнем просмотре телепередач. Трудности создания адекватного контента для обеспечения активного поведения человека в виртуальной 3D среде значительно превосходят трудности создания стереофильмов из-за необходимости согласования зрительных сигналов с движениями головы и тела пользователя. Поэтому на доведение соответствующих 3D продуктов до нужного уровня комфортности может потребоваться ещё немало времени.

## Выводы

У большинства лиц с нормально развитым бинокулярным зрением просмотр в стереоформате кино- и видеофильмов, созданных и демонстрируемых с учётом особенностей стереовосприятия в кинозале, вызывает нагрузку, сопоставимые с обычными фильмами.

Для лиц с постоянным косоглазием просмотр фильмов 3D формата в стереочках принципиально не отличается от просмотра фильмов 2D формата. Однако 3D формат может создавать дополнительную нагрузку при уменьшении воспринимаемой яркости из-за разделения светового потока проектора на два канала и потерь света при сепарации изображений для левого и правого глаза.

Наибольший дискомфорт при восприятии стереофильмов могут испытывать лица с аномалиями отдельных бинокулярных функций, а также пациенты, не до конца прошедшие курс функционального лечения для восстановления и развития нарушенных бинокулярных механизмов.

В связи с массовым распространением продукции в 3D формате, процент людей, озабоченных состоянием своего бинокулярного зрения, может возрасти почти на порядок – с 3% до 30%. Такая ситуация требует срочного выпуска удобного набора тестов для быстрой и комплексной оценки состояния бинокулярных функций, а также приборов и программ для их тренировки.

Современная стереопродукция ещё далека от совершенства, в связи с чем продолжительность фильмов следует ограничивать, зрителей полезно инструктировать посредством объявлений перед сеансами и информации на стендах в фойе, а бинокулярные функции нужно проверять и тренировать, учитывая хотя бы три показателя: остроту стереозрения, фузионные резервы и скорость бинокулярной интеграции.

Поскольку массовое распространение 3D технологий уже представляется необратимым, проблемы зри-

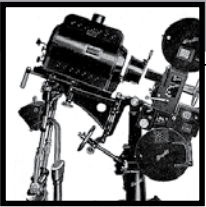
тельного дискомфорта при восприятии продукции в стереоформате необходимо специально исследовать для успешного дальнейшего развития стереокинематографа.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность Т.А. Оганяну, обеспечившему размещение анкеты на сайте ИППИ РАН, и испытуемым, согласившимся пройти тестирование и подробно ответить на вопросы анкеты. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Валюс Н.А.* Стереоскопическая фотография, кино, телевидение. М., Искусство, с. 263, 1986.
2. *Васильева Н.Н., Рожкова Г.И.* Особенности бинокулярного зрения детей в разном возрасте и необходимость их учёта при создании детских стереофильмов. ООО "ИПП "Куна", МТК № 16, с. 19–24, 2010.
3. *Голдовский Е.М.* Условия естественного восприятия киноизображений. М., ВГИК, с. 29, 1960.
4. *Егорова Т.С.* Слабовидение у детей, методы и способы его коррекции. Зрительные функции и их коррекция у детей. Под ред. С.Э. Аветисова, Т.П. Кащенко, А.М. Шамшиновой. М., Медицина, с. 14–37, 2005.
5. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н.* Стереоконьюгированные методы формирования изображений и их применение. ТКИТ № 8, с. 11–16, 2001.
6. *Литинский Г.А.* Глубинное зрение вдаль у лиц с пониженной остротой зрения одного глаза. Проблемы физиологической оптики, Т. 4. (под ред. Л.А. Орбели, С.И. Вавилова, С.В. Кравкова) М.-Л., Изд. АН СССР, с. 71–72, 1947.
7. *Литинский Г.А.* Динамика глазных мышц и бинокулярное восприятие глубины (вдаль). Проблемы физиологической оптики, Т. 4. (под ред. Л.А. Орбели, С.И. Вавилова, С.В. Кравкова) М.-Л., Изд. АН СССР, с. 73–76, 1947.
8. *Овечкис Ю.Н.* Методы и средства формирования объёмных изображений в обучающих системах. Автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук, с. 46, 2006.
9. *Рожков С.Н.* Особенности восприятия стереоизображения в условиях кинозала. ООО "ИПП "Куна", МТК № 10, с. 10–15, 2008.
10. *Рожкова Г.И.* Бинокулярное зрение. Физиология зрения. М., Наука, с. 586–664, 1992.
11. *Рожкова Г.И., Васильева Н.Н.* Сравнительные трудности восприятия фильмов в 2D и 3D форматах. ООО "ИПП "Куна", МТК № 16, с. 12–18, 2010.
12. *Рожкова Г.И., Васильева Н.Н., Рожков С.Н.* Фузионные способности человека и возможности расширения диапазона параллакса в стереофильмах без увеличения нагрузки на зрительную систему. ООО "ИПП "Куна", МТК № 12, с. 11–15, 2009.
13. *Сомов Е.Е.* Методы офтальмоэргономики. Л., Наука, с. 157, 1989.
14. *Хетлерович С.* Конвертация видеоматериалов в стереоформат – особенности, возможности и ограничения. ООО "ИПП "Куна", МТК, № 16, с. 9–11, 2010.
15. *Julesz B.* Foundation of cyclopean perception. Chicago: Univ. Chicago press, p. 406, 1971.
16. *Lambooy M., IJsselsteijn W., Fortuin M., Heynderickx I.* Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A review. J. Imaging Sci. Technol. Vol. 53, No. 3, p. 1–14, 2009.
17. *Martins da Cunha H., Alves da Silva O.* Disturbances of binocular function in the postural deficiency syndrome. Aggressology, Vol. 27, No 1, p. 63–67, 1986.
18. *Meesters L.M.J., IJsselsteijn W., Seutiens P.J.H.* A survey of perceptual evaluations and requirements of three-dimensional TV. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, No 3, p. 381–391, 2004.
19. *Richards W.* Stereopsis and stereoblindness. Exp. Brain Res. Vol. 10, p. 380–388, 1970.
20. *Rushton S.K., Riddell P.M.* Developing visual systems and exposure to virtual reality and stereo displays: Some concerns and speculations about the demands on accommodation and vergence. Appl. Ergon. Vol. 30, p. 69–78, 1999.
21. *Younkin A.C., Anderson G.J., Doherty R.A., Corriveau P.J.* Toward a comprehensive assessment of user experience with 3D // [http://enpub.fulton.asu.edu/resp/vpqqm/vpqqm10/Proceedings\\_VPQM2010/vpqqm\\_p.35](http://enpub.fulton.asu.edu/resp/vpqqm/vpqqm10/Proceedings_VPQM2010/vpqqm_p.35).



# БИОАДАПТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ в цифровом формате



■ В.В. Савченко, к.т.н., ОИМ НАН Беларуси ■

## Аннотация

*В статье рассматривается возможность применения концепции биоадаптивных анимаций в системах виртуальной реальности в технологии современного цифрового кинематографа. Обсуждается, какие новые функции могут появиться у кинематографа при таком симбиозе.*

*Ключевые слова: биоадаптивные анимации, биологическая обратная связь, цифровой кинематограф.*

■ Не требует доказательств постулат о том, что за последнее десятилетие направление, которое называют «цифровой кинематограф», развивалось интенсивно, и полученные результаты позволили произвести качественные переходы в потенциальных возможностях кинопроизводства. Ряд специалистов в этой области считают, что «цифровой кинематограф революционно преобразовал традиционное кинопроизводство» и ускорил эволюционное развитие цифровых киносистем [1]. Под потребности направления производители оборудования выпустили соответствующую «линейку» современных аппаратно-программных средств, позволяющих создавать цифровые кинотеатры нового поколения с различной архитектурой киносистем (выделяются три иерархических уровня), производственной технологией и организационной структурой. Рост объемов производства фильмов в цифровом формате и количество кинотеатров нового поколения за последние годы впечатляет, как впрочем, и новые возможности цифрового кинематографа.

## BIOADAPTIV TECHNOLOGY IN DIGITAL FORMAT

*V. Savchenko*

### Abstract

*The possibility of applying the concept of bioadaptive animations in virtual reality systems technology for today's digital cinema. It is discussed what a new features at the cinema, with such a symbiosis, can emerge.*

*Keywords: bioadaptiv animation, biofeedback, digital cinema.*

Более десяти лет тому назад в процессе научных исследований в междисциплинарной области была разработана концепция биоадаптивных анимаций в системах виртуальной реальности [2]. Суть концепции состоит в следующем: текущее функциональное состояние человека и направление динамики его изменения, автоматически интерпретируемого на основе анализа психофизиологических параметров соответствующими аппаратно-программными средствами в реальном масштабе времени, обуславливают пошаговый переход к соответствующему конкретному анимационному или игровому сценарию или фрагменту из «библиотеки» микросценариев (сцен), логически и семантически взаимосвязанных и проецируемых на средствах отображения информации. Сегодня такой подход продолжает развиваться применительно к системам разного класса (системы «человек-машина» различного назначения, биомедицинские системы) [3, 4 и др.]. Кроме того, в инженерной психологии, эргономике и биомедицинской кибернетике разработаны десятки методов контро-



ля (мониторинга) различных аспектов функционального состояния операторов (пациентов), и в ряде случаев аппаратно-программных средств, для их прикладной реализации. Наибольшее развитие получили методы, ориентированные на мониторинг «пограничных» функциональных состояний, таких как динамика изменений в направлении релаксации, и/или эмоционального возбуждения оператора в реальном масштабе времени непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности. Такие функциональные состояния человека как «релаксация», «норма» и «эмоциональное возбуждение» могут интерпретироваться с достаточной степенью достоверности. Подобные функциональные состояния или их производные возникают и у зрителей в процессе просмотра фильмов.

Рассмотрим, в самом общем виде, как концепция биоадаптивных анимаций, использующая методологию мониторинга функциональных состояний оператора (человека), «вписывается» в технологии сегодняшнего цифрового кинематографа и какие новые функции у кинематографа при таком симбиозе могут появиться.

Прежде всего, в технологию кинематографа вводится кибернетический принцип обратной связи (англ. biofeedback), точнее, семантической биологической обратной связи, позволяющий, во-первых – осуществлять объективную оценку влияния (воздействия) конкретного сюжета на конкретную личность (зрителя), прежде всего в контексте изменений эмоциональных состояний, во-вторых – реализовывать автоматическое адаптивное управление выстраиванием дальнейшей сюжетной линии фильма под конкретную личность (зрителя), с учётом его фактической реакции и предварительно заданной целевой функцией в реальном масштабе времени. Под целевой функцией понимается предварительная «установка» зрителя на направление динамики изменения его функционального состояния, из триады релаксация–норма–эмоциональное возбуждение, а в ряде случаев также «глубины» этих состояний.

Одно из классических определений биологической обратной связи (БОС) – это «опроецирование исходно произвольных функций человека и доведение их до уровня сознания». Когда БОС рассматривается как технология, то отмечают, что она включает в себя комплекс исследовательских, лечебных и профилактических физиологических процедур, в ходе которых человеку (пациенту) посредством внешней цепи обратной связи, организованной преимущественно с помощью микропроцессорной или компьютерной техники, предъявляется информация о состоянии и изменении тех или иных собственных физиологических процессов. БОС – процедура, которая заключается в непрерывном мониторинге в режиме реального времени определённых физиологических показателей и сознательном управлении ими с помощью мультимедийных, игровых и других приёмов в заданной области значений. Другими словами, БОС–интерфейс представляет для человека своего рода «физиоло-

гическое зеркало», в котором отражаются его внутренние процессы. Таким образом, в течение курса БОС–сеансов возможно усилить или ослабить данный физиологический показатель, а значит, уровень тонической активности той регуляторной системы, чью активность данный показатель отражает.

Основные сферы применения технологии БОС:

- клиническая – неврология, кардиология, педиатрия, восстановительная медицина и др.;

- неклиническая – управление функциональным состоянием операторов систем «человек-машина», в эффективном стрессменеджменте, спорте, а также в любой деятельности, требующей длительных усилий и большой ответственности, для коррекции так называемых пограничных состояний, вызванных неконтролируемым влиянием хронического стресса, в педагогике, где с помощью БОС–технологий решаются вопросы повышения эффективности обучения, развития творческих способностей и др. [5].

В работе [6] предложен способ организации семантической БОС, который предполагает использование не психофизиологических (физиологических) параметров (как в классических способах организации БОС), а более интегральных показателей, таких как: функциональное состояние и/или поведенческая реакция человека. Функциональные состояния (поведенческая реакция) могут интерпретироваться на основе анализа различных массивов данных, таких как: анализ физиологических (психофизиологических) параметров, уровня активности при взаимодействии с внешней средой.

Ещё в работах пионера советской кинематографии Льва Кулешова был впервые сформулирован принцип монтажа фильма, согласно которому восприятие зрителем эмоций, выраженных актёром, решающим образом зависит от контекста, заданного режиссёром. Развивая эти идеи, Г. Валльботт называет три фактора, обуславливающие восприятие другого человека: собственно предмет внимания (например, выражение лица), контекст или все окружающие стимулы, доступные наблюдателю, и, наконец, особенности личности и эмоционального состояния самого наблюдателя [7]. Основываясь на детальном анализе предшествующих работ, автор вводит контекст как переменную, доступную экспериментальному исследованию. Контекст включает: временные параметры протекания выраженной эмоции; информацию о других формах невербального поведения; интерактивную ситуацию; «предварительные знания» наблюдателя о воспринимаемом объекте. В качестве теоретического подхода автор использует модель Г. Брунsvика, где постулируется, что восприятие окружающего мира ограничивается выделением тех признаков, которые обладают для субъекта валидностью. Применительно к восприятию эмоциональной экспрессии Г. Валльботт дополнительно вводит в модель такие факторы, как культурные и личностные стереотипы наблюдателя, а также субъективно прочитан-

ную им «ситуацию». Опираясь на результаты эксперимента, автор анализирует стратегии интеграции (аддитивную, усредняющую, регрессивную), которые использует наблюдатель в зависимости от того, согласуется ли экспрессия лица с контекстом, т.е. с информацией, поступающей по другим каналам, или диссоциирует с ним. Придерживаясь когнитивно-психологического подхода, Г. Валльботт полагает, что последующие исследования восприятия эмоций не должны ограничиваться определением того, «правильно» ли опознана та или иная эмоция и насколько единодушны наблюдатели в своих оценках, но, скорее, должны быть направлены на изучение процесса восприятия эмоций и интеграции эмоционально-релевантной информации. Эффект контекста в ряде случаев связан с полом воспринимаемого: женщины проявляют свои эмоции более выразительно и более открыто, мужчины же (в европейской культуре) менее экспрессивны, так как социально-ролевые правила предписывают им скрывать свои эмоции, поэтому наблюдатель, когда эмоции выражает женщина, больше «доверяет» её мимике, а когда мужчина – контексту [8].

С одной стороны, предложенный подход как бы «персонализирует» цифровой кинематограф (управление по состоянию – в терминах теории автоматического управления), с другой – как бы нивелирует социально-культурные стереотипы и национальные особенности восприятия зрителя. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы EDCF – Европейского форума Цифрового кинематографа, Лондон, июнь 2005.
2. *Савченко В.В.* Концепция биоадаптивных анимаций в системах виртуальной реальности. Теория и системы управления, № 4, с. 152–155, 1997.
3. *Савченко В.В.* Тренажёрные комплексы подготовки операторов транспортных систем «человек-машина»: новые функциональные возможности. Механика машин, механизмов и материалов, № 2 (3), с. 48–51, 2008.
4. *Савченко В.В.* Методологические аспекты игрового биоуправления. Бюллетень СО РАМН, № 3 (113), с. 61–66, 2004.
5. Биоуправление – 4: Теория и практика. Под. ред. М.Б. Штарка. Новосибирск: ЦЭРИС, с. 350, 2002.
6. *Савченко В.В.* Теория функциональных систем в задачах управления функциональным состоянием операторов. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, № 5–6, с. 75–79, 2004.
7. *Wallbott H.G.* Mimik im Kontext. Die Bedeutung verschiedener Information-skoiponenten fur das erkennen von Emotionen. Gottingen: Hogrefe, s. 244, 1990.
8. *Парамей Г.В.* Мимика в контексте. Значение различных информационных компонентов в распознавании эмоций. Электронный ресурс, 2010. Режим доступа: [http://www.voppsy.ru/journals\\_all/issues/1995/951/951139.htm](http://www.voppsy.ru/journals_all/issues/1995/951/951139.htm), дата доступа: 05.03.2010.

### НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КИНОФОТОИНСТИТУТ (ОАО "НИКФИ")

#### ОБЪЯВЛЯЕТ ВТОРОЙ НАБОР СЛУШАТЕЛЕЙ НА КУРСЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ СТЕРЕОКИНО!

Начало занятий с 04.04.2011 года. Появление таких курсов очень актуально в период острой нехватки отечественной кино - теле индустрии специалистов по стереокино. Курсы рассчитаны на 3 месяца – 12 занятий по 4 академических часа (180 минут) и имеют практическую направленность. Занятия будут проходить в учебном классе НИКФИ (станция метро "Аэропорт"). Руководитель курсов ведущий специалист по стереокино – оператор и продюсер стереокино Александр Мелкумов. Занятия будут сопровождаться показом стереофильмов на кино-экране. За время курсов каждый из его участников должен будет снять короткометражный стереофильм. По окончании каждому, успешно выполнившему все учебные задания, будет выдан официальный сертификат слушателя курсов.

#### ПРОГРАММА КУРСОВ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ПО ТЕМЕ:

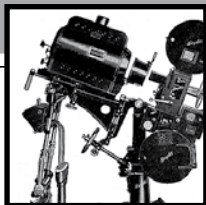
#### «ПРАКТИКА ПРОИЗВОДСТВА СТЕРЕОФИЛЬМОВ»

1. Введение в теорию и практику стереографии
2. Методология расчёта параметров стереокинсьёмки
3. Обзор инструментария для стереосъёмок
4. Технология малобюджетной цифровой стереосъёмки
5. Кинсьёмка оптикой «Стерео-70»
6. Технология стереосъёмки в кукольной анимации
7. Особенности композиционного построения кадра в стереокино
8. Технология форматирования видеопотоков и монтаж отснятого материала
9. Создание титров к стереофильму
10. Особенности монтажа в стереокино

Данный курс является введением в теорию и практику стереоскопических кинсьёмок, который составлен на базе исследовательских работ лаборатории стереокинематографии НИКФИ и обобщений творческой практики производства стереофильмов на отечественных киностудиях и мировом опыте.

Запись на курсы производится по e-mail: [info@stereokino.ru](mailto:info@stereokino.ru)

или по тел.: 8 (910) 409 19 45 Мелкумов Александр Сергеевич



# ОЦЕНКА воспроизводящих свойств ТЕЛЕФАКСИМЛЬНОЙ (фототелеграфической) АППАРАТУРЫ

Т.А. Трубникова, к.т.н., Д.А. Храмов, аспирант, К.К. Гудинов, СПбГУТик

## Аннотация

В настоящей работе рассматриваются вопросы аналитической оценки качества изображения, обеспечиваемого установками телефаксимильной связи, такими как чёткость изображения репродукции и наличие в ней заметных искажений, вызванных пространственной дискретизацией сигнала изображения. На основании анализа и расчётов приведена методика выбора основных параметров факсимильных аппаратов: шага пространственной дискретизации изображения и размеров считывающего и воспроизводящего элементов.

**Ключевые слова:** сигнал изображения, пространственная дискретизация сигнала изображения; искажения изображения, вызванные пространственной дискретизацией сигнала изображения; считывающий элемент, воспроизводящий элемент; оригинал изображения; репродукция

Принцип действия фототелеграфной системы (ФТС) заключается в том, что в передающем аппарате осуществляется построчное считывание оптических плотностей (или коэффициента отражения) передаваемого изображения и последовательное преобразование светового сигнала в пропорциональный ему электрический сигнал, который затем передаётся по каналу связи. В приёмном устройстве происходит обратный процесс. По окончании передачи – приёма одной строки, оригинал изображения и его копия передвигаются на шаг дискретизации  $Y^*$ , и процесс повторяется до тех пор, пока не будет передано и записано всё поле изображения. Таким образом, ФТС является примером дискретно-аналоговой системы, где аналоговая запись – воспроизведение осуществляется по оси  $X$ , а

ESTIMATION OF PLAYBACK PROPERTIES OF TELEFACSIMILE (PHOTOTELEGRAPHIC) APPARATUS

*T. Trubnikova, D. Hramov, K. Gudinov*

## Abstract

*In the present work questions of an analytical estimation of quality of the image, provided with telefax communication installations, such as image sharpness of a reproduction and presence in it of the appreciable distortions caused by spatial digitization of a picture signal are considered. On the basis of the analysis and calculations the technique of a choice of key parameters of fax machines is resulted: a step of spatial digitization of the image and the sizes of reading out and reproducing elements.*

**Keywords:** picture signal, spatial digitization of a picture signal; the distortions of the image caused by spatial digitization of a picture signal; reading out element; reproducing element; the original of the image; the reproduction

пространственная дискретизация – по оси  $Y$ , то есть система анизотропна по этим осям.

Поскольку ФТС анизотропна вдоль осей  $X$  и  $Y$ , её эквивалентные схемы по этим осям различны. При установлении стандартов на ФТС стремятся к тому, чтобы свойства системы вдоль обеих осей были как можно ближе.

Фильтрацию пространственно-временных частот на входе ФТС осуществляет оптическая система ОС, формирующая элементарную площадку оригинала, а также считывающий элемент ЭС фотопреобразователя. На выходе фильтрацию обеспечивает воспроизводящий элемент ЭВ и зрительный анализатор ЗА. Канал связи КС ограничивает пространственно-временные частоты в спектре передаваемого сигнала, что равносильно дополнительной фильтрации по оси  $X$ .

Объективными показателями качества чёрно-белого неподвижного изображения, воспроизводимого любой системой записи, тиражирования и воспроизведения информации, являются информационная ёмкость  $H'$ , информационная плотность  $H'$  изображения, а также коэффициент информативности  $\eta$ .

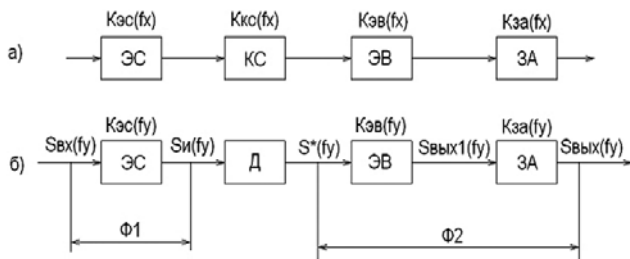


Рис. 1. Эквивалентная схема фототелеграфной системы: а) вдоль оси X, б) вдоль оси Y; ЭС – считывающий элемент передающего устройства; Д – дискретизатор; КС – канал связи; ЭВ – воспроизводящий элемент приёмного устройства; ЗА – зрительный анализатор; Ф1, Ф2 – фильтры пространственных частот на входе и выходе системы

Для определения оптимальных параметров факсимильной связи для бланка формата А3, таких, как шаг пространственной дискретизации, диаметр считывающего элемента и время передачи бланка, проведён анализ воспроизводящих свойств системы по параметрам «чёткость изображения» и искажениям изображения, вызванным пространственной дискретизацией сигнала изображения. Известно [1], что объективными показателями для этого являются коэффициент информативности  $\eta$  и коэффициент искажений  $\xi$ . Для оценки системы выбраны исходные данные, представленные в таблице 1.

Табл. 1. Исходные данные для оценки системы

	1	2
Шаг пространственной дискретизации $Y^*$ , мм	0,2	0,1
Диаметр считывающего элемента $d$ , мм	0,2	0,1
Время передачи бланка $T$ , с	30	
$C = t/t_n^*$	1,5	1,2

\* $t$  – время считывания строк,  $t_n$  – период считывания строк

Так как диаметры считывающего и воспроизводящего элементов равны шагу дискретизации, частоту дискретизации находим по формуле:

$$f_d = \frac{1}{y^*} \quad (1)$$

Найдём максимальное количество строк:

$$z = \frac{h_k}{y^*} \quad (2)$$

где  $h_k$  – высота бланка оригинала.

Для определения коэффициента информативности ФТС необходимо найти пространственно-частотную характеристику (ПЧХ) считывающего и воспроизводящего элементов. Они обладают круговой симметрией, поэтому вдоль осей  $f_x$  и  $f_y$  ПЧХ одинаковы. При условии равенства шага дискретизации и размеров элементов, можно записать [1]:

$$K_{эс}(f_x) = K_{эв}(f_x) = \exp \left[ -\pi \left( \frac{f_x y^*}{2} \right)^2 \right] \quad (3)$$

ПЧХ канала связи  $K_{кс}(f_x)$  имеет вид прямоугольника с амплитудой, равной единице, и частотой среза пространственных частот  $f_{max}$ ,  $mm^{-1}$  причём [2]:

$$f_{max} = \frac{1}{2Cy^*} \quad (4)$$

Для определения коэффициента информативности ФТС необходимо также найти пространственно-частотную характеристику зрительного анализатора  $K_{за}(f_c)$ . Для расчёта ПЧХ ЗА необходимо привести пространственные частоты на бланке копии  $f_x$  к частотам сетчатки глаза  $f_c$ .

Линейное увеличение ЗА определим из выражения:

$$\beta_{за} = \frac{f'_{за}}{L}, \quad (5)$$

где  $f'_{за}$  – фокусное расстояние зрительного анализатора, равное 16 мм,  $L$  – расстояние наилучшего видения, равное 25–35 см.

Приведём пространственные частоты на носителе к пространственным частотам сетчатки глаза [1]:

$$f_c = \frac{f_x}{\beta_{за}} \quad (6)$$

Пространственно-частотную характеристику зрительного анализатора найдём из выражения [1]:

$$K_{за}(f_c) = \exp \left[ -5,5 \left( \frac{f_c}{140} \right)^2 \right] \quad (7)$$

Итоговая ПЧХ фототелеграфной системы определится как:

$$K_{итог}(f_x) = K_{эс}(f_x) \cdot K_{кс}(f_x) \cdot K_{эв}(f_x) \cdot K_{за}(f_x) \quad (8)$$



В результате получим следующее:

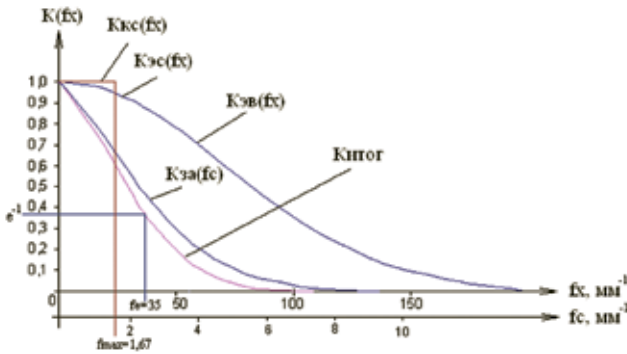


Рис. 2. Пространственно-частотная характеристика вдоль оси X для первой системы

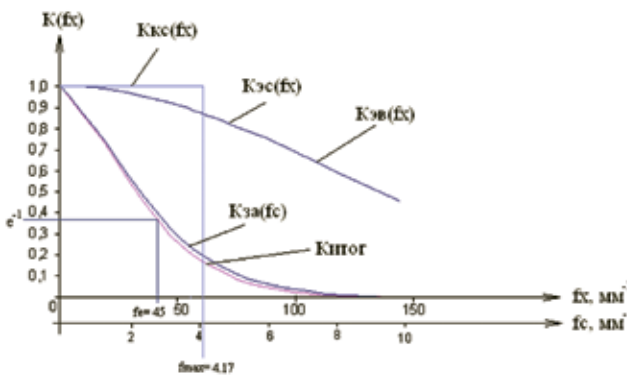


Рис. 3. Пространственно-частотная характеристика вдоль оси X для второй системы

Информационная плотность  $H'_p$  анизотропных систем определяется следующим образом [1]:

$$H'_p = 4N_{\text{сист}}^2 \cdot \pi \left( 1 - \frac{(2N_c \cdot y_c^*)^{-2}}{1+n} \right) \quad (9)$$

где  $N_{\text{сист}}$  – разрешающая способность системы,  $N_c$  – частота на поверхности сетчатки глаза, при которой функция ПЧХ достигает значения уровня шума,  $y_c^*$  – шаг дискретизации, приведённый к поверхности сетчатки глаза, который определим так:

$$y_c^* = y^* \cdot \beta_{\text{за}} \quad (10)$$

$n$  – показатель степени аппроксимирующей функции, который определяется как

$$n = \frac{1.3}{\ln\left(\frac{N}{f_e}\right)} \quad (11)$$

где  $f_e$  – критическая пространственная частота, при которой коэффициент передачи контраста  $K(f_e) = 0,37$  (рис. 2).

Чтобы связать количественную оценку системы ФТС с её восприятием зрительным анализатором, вводится понятие коэффициента информативности [1]:

$$\eta = \frac{H'_p}{H'_p_{\text{за}}} \quad (12)$$

где  $H'_p_{\text{за}}$  – информационная плотность изображения, воспринимаемая зрительным анализатором, которая вычисляется по формуле [1]:

$$H'_p_{\text{за}} = 4 \cdot N_{\text{за}}^2 \cdot m_{\text{за}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{2+n_{\text{за}}} \right) \right] \quad (13)$$

где  $N_{\text{за}}$  – частота на поверхности сетчатки, при которой функция ПЧХ достигает значения уровня шума, равная 110 мм,  $n_{\text{за}}$  – показатель степени аппроксимирующей функции, приведённый к сетчатке глаза.

Субъективное восприятие изображения оценивается чёткостью изображения, объективное – коэффициентом информативности. График, устанавливающий связь между субъективной и объективной оценкой качества изображения, называют сенсорной характеристикой зрительного анализатора. Сенсорная характеристика по параметру «чёткость изображения» известна и выглядит следующим образом [1]:

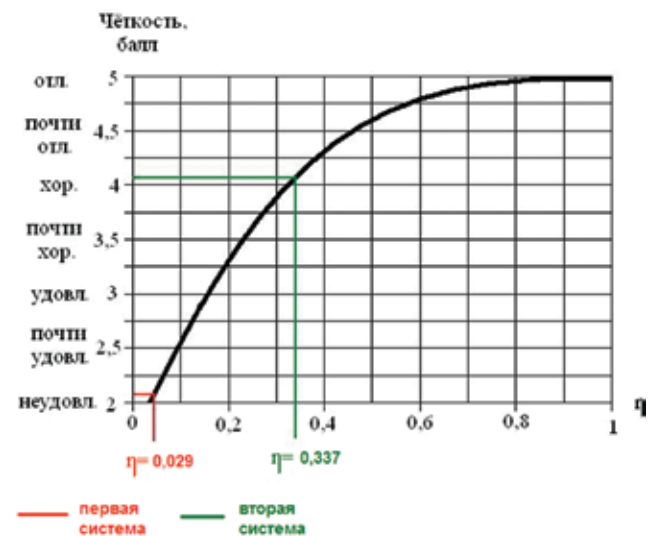


Рис. 4. Сенсорная характеристика зрительного анализатора

Для оценки искажений изображения, вызванных пространственной дискретизацией изображения, найдём пространственно-частотные характеристики вдоль оси Y для обеих систем.

Итоговая ПЧХ системы определяется выражением:

$$K_{\text{ит}}(f_y) = K_{\text{зс}}(f_y) \cdot K_{\text{кк}}(f_y) \cdot K_{\text{эв}}(f_y) \cdot K_{\text{за}}(f_y) \quad (14)$$

Поскольку в фототелеграфной системе вдоль оси  $Y$  происходит пространственная дискретизация сигнала изображения, то могут появиться искажения I и II рода. Искажения I рода возникают из-за неудовлетворительной фильтрации пространственных частот фильтром  $\Phi 1$  на входе системы и проявляются в виде муар-эффекта и исчезновения мелких деталей изображения, а искажения II рода – в виде заметности растровой структуры изображения.

Спектр дискретизированного сигнала определяется выражением [1]:

$$S^*(f_y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_{\text{эс}} \left( \frac{f_y - n}{y^*} \right) \quad (15)$$

Коэффициент искажений описывается функцией [1]:

$$\xi_1 = 1 - \frac{\int_{-\frac{0,5}{y^*}}^{\frac{0,5}{y^*}} |K_{\text{эс}}(f_y)|^2 df_y}{\int_{-\infty}^{\infty} |K_{\text{эс}}(f_y)|^2 df_y} \quad (16)$$

По полученным данным строим пространственно-частотную характеристику вдоль оси  $Y$  (рис. 5 и 6).

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

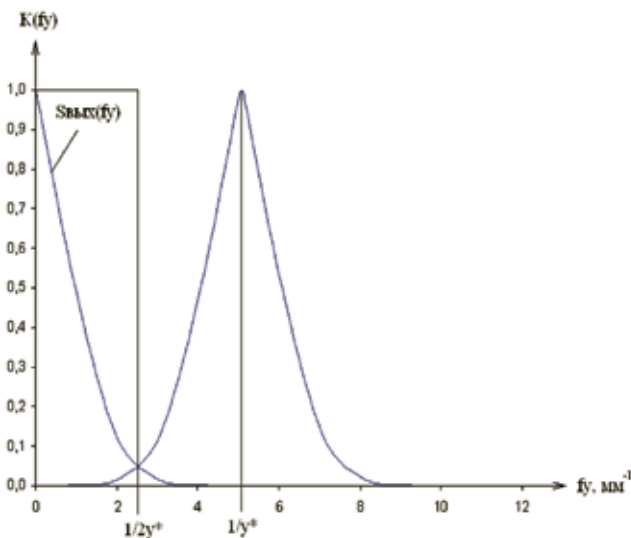


Рис. 5. Пространственно-частотная характеристика вдоль оси  $Y$  первой системы

1. При одном и том же времени передачи бланка чёткость изображения на репродукции тем лучше, чем меньше шаг пространственной дискретизации при считывании оригинала изображения и размеры считывающего и воспроизводящего элементов.

2. При уменьшении шага пространственной дискретизации искажения I и II рода на изображении репродукции отсутствуют, как видно на графиках рис. 5 и 6.

Из вышесказанного следует, что при разработке систем ФТС следует минимизировать указанные параметры.

Проблемы пространственной дискретизации изображения впервые возникли при создании систем телефаксимильной связи и получения адекватного изображения на выходе системы. Однако впоследствии оказалось, что цифровая фотоаппаратура и цифровой кинематограф подчиняются таким же законам пространственной дискретизации сигнала изображения, которые были обоснованы профессором О.Ф. Гребенниковым, подтверждены профессором Г.В. Тихомировой. Пространственная дискретизация сигнала изображения может для всех указанных систем привести к искажениям рассматриваемого изображения в виде «муар-эффекта», т.е. искривления строк и заметности растровой структуры кадра, т.е. заметности отдельных точек в слитном изображении, а также могут быть полезны и для решения задач цифровой фотоаппаратуры и цифрового кинематографа. ■

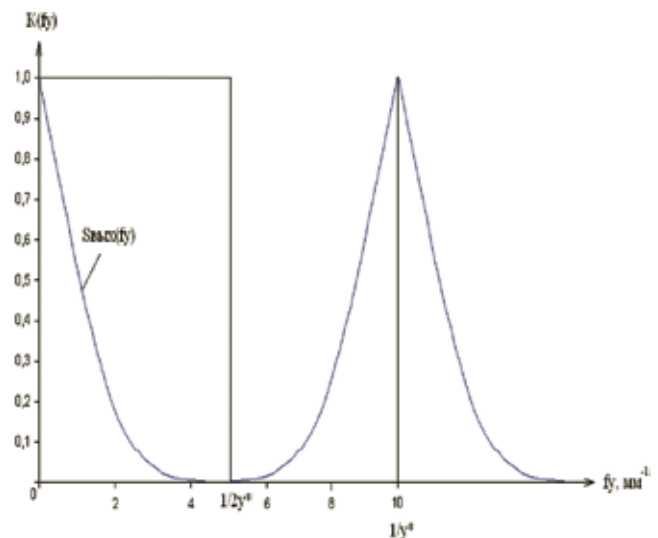
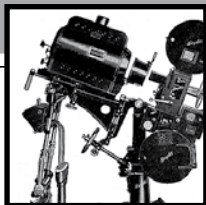


Рис. 6. Пространственно-частотная характеристика вдоль оси  $Y$  второй системы

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике). СПб, 2002.
2. Трубинова Т.А. Воспроизводящие свойства фототелеграфических (телефаксимильных) систем. Сборник научных трудов СПИКиТ № 8, СПб, 1998.
3. Зубарев Ю.Б., Глоризов Г.Л. Передача изображений. М., Радио и связь, 1989.



# ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА СВЕТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СИСТЕМЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

А.О. Борисанова,  
аспирантка,  
С.Б. Одинокоев,  
доцент, к.т.н., научный  
руководитель,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана



## Аннотация

Проводимое исследование направлено на поиск оптимальных параметров схемы модуляции страниц данных, соответствующих требованиям системы голографической памяти.

Жидкокристаллический пространственный модулятор света (ПМС-ЖК) является одним из наиболее важных компонентов для формирования страниц данных в схемах получения микроголограмм. В то же время, кривая пропускания ПМС-ЖК является нелинейной и сильно изменяется при различных настройках параметров схемы. Поэтому заранее невозможно знать, какие параметры оптимальны, выяснить это возможно лишь по итогам экспериментальных исследований.

При анализе графиков амплитудной и фазовой модуляционных характеристик, полученных после обработки экспериментальных данных, были определены три точки для кодирования единиц и нулей страницы данных, оптимальные для реализации гибридной модуляции. Таким образом, ПМС-ЖК оказался сдвинут в рабочую точку при соответствующем положении поляризатора, анализатора и уровне напряжения, поданного на ЖК-ячейку.

**Ключевые слова:** голографическая память, микроголограмма, гибридное кодирование, жидкокристаллический пространственный модулятор света, поляризация, модуляционная характеристика.

## ■ Принцип работы голографической памяти

В современном информационном мире непрерывно идёт рост объёмов данных, хранение которых традиционно осуществляется при помощи оптических и магнитных систем. Однако эффективность таких средств, как CD-диски или магнитные ленты, ограничена теоретически достижимой плотностью. Решить данную проблему позволяет оптико-голографическая память, плотность записи данных в которой значительно выше.

MEASUREMENT OF AMPLITUDE AND PHASE MODULATION CHARACTERISTICS OF THE LIQUID CRYSTAL LIGHT MODULATOR USED FOR HOLOGRAPHIC MEMORY

A. Borisanova, S. Odinokov

## Abstract

The study was aimed to find the optimal parameters of data page modulation scheme that conform to the holographic memory requirements.

Liquid-crystal spatial light modulator is one of the most important components for the data page formation in the scheme of the micro holograms recording. At the same time, the LC-SLM transmission curve is nonlinear and depends greatly on different settings of the scheme. Therefore, it is impossible to know in advance which parameters are optimal; the only possibility to find it out is to carry out an experiment.

The graphs of amplitude and phase modulation characteristics obtained after processing the experimental data were analyzed. Three points for the data pages encoding, optimal for the hybrid modulation, were identified. Thus, the LC-SLM was shifted in the operating point at an appropriate polarizer and analyzer positions and the voltage level applied to the LC-cell.

**Keywords:** holographic memory, micro hologram, hybrid ternary modulation, liquid crystal spatial light modulator, polarisation, modulation characteristic.

В системах памяти необходимо реализовать запись информации в виде набора двоичных данных. В оптике двоичный код можно реализовать в виде освещённого плоского транспаранта, ячейки которого в узлах регулярной двумерной сетки соответствуют единицам и нулям.

Устройство голографической памяти было реализовано на базе ранее разработанной схемы получения голограмм с перпендикулярным падением опорного пучка (рис. 1), которая позволяет применить оригинальный

метод мультиплексирования голограмм, основанный на пространственном разделении изображений, восстанавливаемых с наложенных голограмм [1].

как правило, перпендикулярны друг относительно друга. В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокирует-

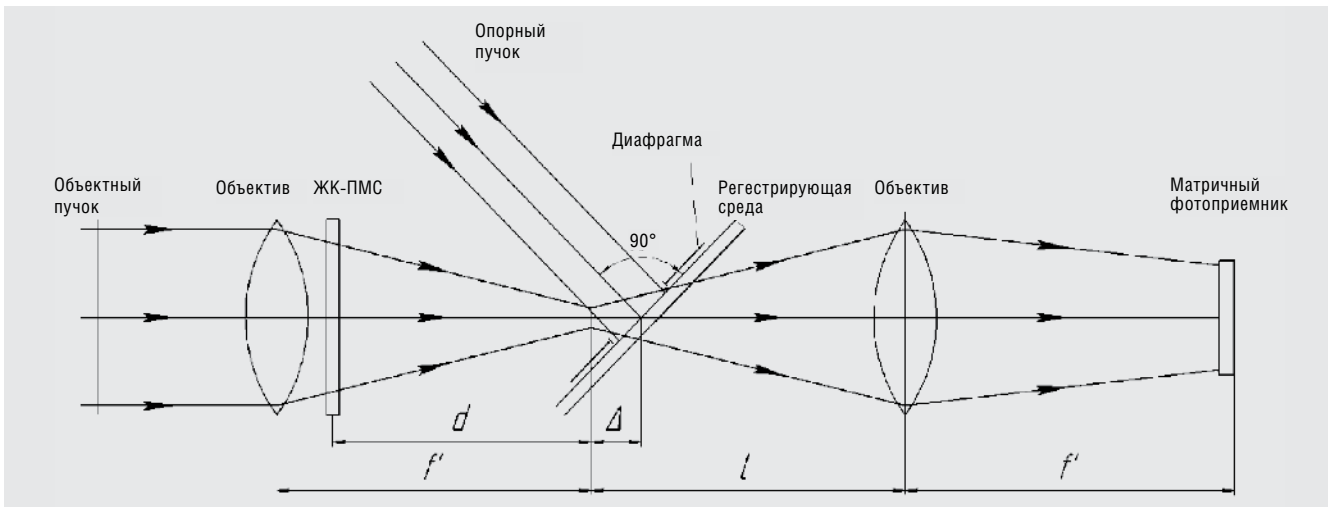


Рис. 1. Схема получения и восстановления голограмм в устройствах записи и считывания

### Задача проводимых исследований

Жидкокристаллические пространственные модуляторы света используются для модуляции света в соответствии с заданной пространственной схемой. Это необходимый и один из наиболее важных компонентов в системах страничной оптико-голографической памяти, так как именно он формирует страницу данных хранящейся информации при её записи в голограмму. Жидкокристаллические пространственные модуляторы света (ПМС-ЖК) могут осуществлять пространственную модуляцию излучения по амплитуде и фазе. Однако кривая пропускания (интенсивность пропускаемого света относительно напряжения на электродах) такого модулятора является нелинейной и сильно изменяется при различных настройках параметров. То есть изначально не может быть известно, какова зависимость амплитудного пропускания и фазовой модуляционной характеристики от различных настроек яркости, контраста, напряжения на ячейке, направления поляризации падающего пучка и пр.

Проводимое исследование направлено на то, чтобы найти наиболее оптимальный набор параметров, который будет соответствовать требованиям системы голографической памяти. Таким образом, ПМС-ЖК будет «сдвинут» в рабочую точку при соответствующем положении поляризатора, анализатора и уровне напряжения.

### Общая информация о принципах работы пространственно-временного модулятора света на основе матрицы ячеек жидких кристаллов

Все ячейки ПМС-ЖК (рис. 2) состоят из слоя молекул жидких кристаллов, заключённых между двумя прозрачными электродами, и двух поляризационных фильтров (поляризаторов), плоскости поляризации которых,

как правило, перпендикулярны друг относительно друга. В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокирует-

ся вторым. Поверхность электродов, контактирующая с ЖК, специально обработана для изначальной ориентации молекул в нужном направлении [2]. Эти направления взаимно перпендикулярны, поэтому молекулы в отсутствие напряжения выстраиваются в винтообразную структуру. В результате, плоскость поляризации поворачивается при прохождении от входного фильтра до выходного. В отсутствие напряжения ячейку можно считать прозрачной. Если же к электродам приложено напряжение, то молекулы стремятся выстроиться в направлении электрического поля, что искажает винтовую структуру. При достаточной величине поля практически все молекулы становятся параллельны между собой, что приводит к непрозрачности структуры. Варьируя напряжение, можно управлять степенью прозрачности [3].

В разрабатываемой системе было решено применить метод гибридного кодирования информации (рис. 3), который заключается в следующем [4]:

- «0» биты информации кодируются через состояние ячейки с низким пропусканием и нулевой фазовой задержкой;
- «1» биты информации кодируются через два состояния ячеек с высоким пропусканием (одинаковым для обеих ячеек), но с различными фазовыми задержками 0 и  $\pi$ ;



Рис. 2. Прохождение света через ячейку ПМС-ЖК



- для полного подавления нулевой составляющей в пространственном спектре страницы данных, соотношение ячеек ПМС-ЖК, кодирующих «1» биты в обоих состояниях, должно быть близко к 1, а их взаимное расположение максимально хаотично.

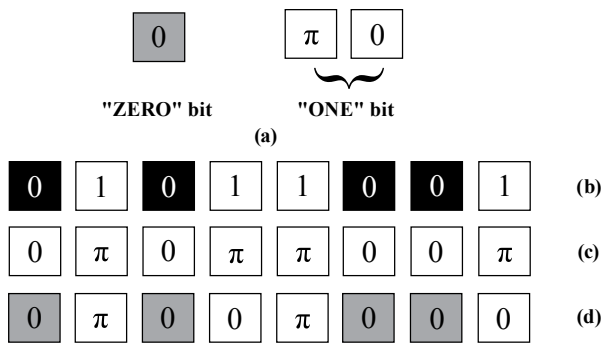


Рис. 3. Схема гибридного кодирования: (а) – правило кодирования по предложенному методу; (б) – обычное амплитудное представление двоичных данных; (с) – простейшее фазовое представление данных; (д) – представление данных по гибридному методу

**Схемы исследования амплитудной и фазовой модуляционных характеристик ПМС-ЖК**

В базовой схеме изучения модуляционной характеристики ПМС-ЖК его располагают между поляризатором и анализатором (рис. 4).

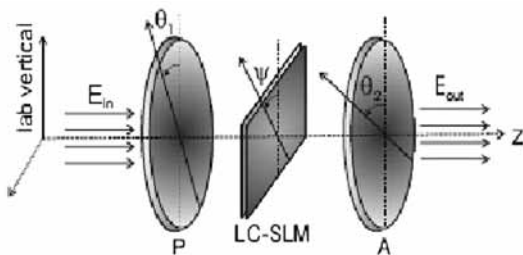


Рис. 4. Базовая конфигурация схемы, показывающая ориентацию поляризатора P, ПМС-ЖК (LC-SLM) и анализатора A

На рис. 4  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – углы отклонения плоскостей поляризации поляризатора P и анализатора A от лабораторной вертикали (lab vertical),  $\psi$  – угол между лабораторной вертикалью и входным директором (направлением ориентации молекул ЖК на первой подложке) [5].

При приложении напряжения к электродам ячейки ЖК меняются не только поляризационные свойства (что видно по пропусканию), но также и угол поворота молекул в кристалле. Приложение напряжения меняет показатель преломления в ячейке ПМС-ЖК со значения  $n_o$  до значения  $n_e$  ( $\Delta n \approx 0.1$ ), поэтому фаза необыкновенной волны, распространяющейся по ячейке, значительно изменяется с изменением угла поворота молекул от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  (показатель преломления обыкновенной волны при этом остаётся неизменным вне зависимости от угла поворота молекул).

В эксперименте изучался ПМС-ЖК марки HoloEye NEO-0017, используемый в системе голографической памяти, однако его базовая схема была немного изменена. Это связано с тем, что измерения проводились с использованием He-Cd лазера с линейно поляризованным излучением. Его плоскость поляризации совпадала с вертикалью, поэтому поляризатор не использовался. Для изменения угла между направлением входной поляризации и входным директором ПМС-ЖК осуществлялось вращение самого ПМС относительно лабораторной вертикали. Такая схема не изменяет ранее указанных целей эксперимента.

Исходя из теории работы ячейки в выключенном состоянии [6], минимальное пропускание в схеме должно наблюдаться в следующем случае: входной поляризатор ориентирован вдоль направления директора на входной плоскости, а анализатор перпендикулярен директору на выходной, то есть

$$\theta_1 = \psi \text{ и } \theta_2 = \psi + \alpha + 90^\circ, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол поворота директора ЖК от входной плоскости до выходной.

Обычно направление входного директора  $\psi = 45^\circ$ , угол поворота  $\alpha = 90^\circ$ . Данные величины так же рекомендованы производителем и для используемого модулятора, т.е. теоретически для получения минимального пропускания необходимо задать  $\theta_1 \approx \theta_2 \approx 45^\circ$ .

При подаче напряжения на электроды ячейки ЖК происходит изменение положения молекул кристаллов, что приводит к изменению направления выходного директора, а значит, и к изменению угла  $\alpha$ . Поэтому нужно произвести калибровку модулятора во включённом состоянии. Для каждого уровня напряжения будет определяться величина угла  $\alpha$ .

Для измерения фазовой модуляционной характеристики ПМС-ЖК был применён метод цифрового сдвигового интерферометра на основе схемы Маха-Зендера, представленной на рис. 5. Ось поляризатора параллельна мо-

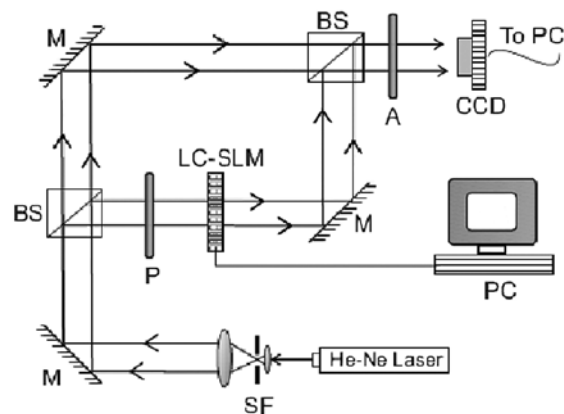


Рис. 5. Интерферометр Маха-Зендера для измерения фазовой задержки ПМС-ЖК: SF – пространственный фильтр; M – зеркала; BS – разделители пучка; P – поляризатор; LC-SLM – ПМС-ЖК; A – анализатор; CCD – МПИ

лекулярному директору входной грани ПМС-ЖК, в результате в модуляторе распространяется только необыкновенная волна.

При различных выведенных на ПМС уровнях серого на МПИ регистрируется выходная интерференционная картина. Фазовая задержка между двумя ветвями интерферометра может быть вычислена по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{\Lambda} (\text{rad}), \quad (2)$$

где:  $\Delta$  – есть величина сдвига интерференционной полосы, полученного при сравнении двух профилей интерферограммы от различных уровней серого, и  $\Lambda$  – период полос. Измеряя фазовую задержку  $\delta$ , получают искомую фазовую модуляционную характеристику ПМС-ЖК.

### Описание эксперимента по определению амплитудных модуляционных характеристик

Пучок лазерного излучения с линейной поляризацией, совпадающей с вертикалью схемы, освещающий ПМС-ЖК, расширяется до размеров ПМС и коллимируется с помощью телескопической системы. ПМС закреплён на вращающемся столике, служащем для изменения угла между плоскостью поляризации входного излучения и направлением директора на передней поверхности слоя ЖК. Анализатором является дихроичная плёнка, наклеенная на стеклянную подложку. Анализатор закреплён на моторизованном вращающемся столике, позволяющем производить изменение угла плоскости выходной поляризации  $\theta_2$ . Излучение, прошедшее через анализатор, фокусируется объективом на термопарный приёмник измерителя мощности лазерного излучения фирмы «Ophir».

Для определения направления  $\psi$  входного директора ЖК модулятор был исследован в выключенном состоянии. На рис. 7 приведён график изменения мощности излучения, вышедшего после анализатора, при вращении ПМС-ЖК в интервале  $0^\circ \div 360^\circ$ .

Из графика видно, что минимум пропускания наблюдался при четырёх значениях угла поворота ПМС, это углы

$20^\circ, 110^\circ, 200^\circ, 290^\circ$ . Точки минимумов при повороте свыше  $180^\circ$  могут не рассматриваться, т.к. являются симметричными первым двум. Одно из двух положений  $20^\circ$  и  $110^\circ$  является искомым, в котором плоскость поляризации входного излучения совпадает с направлением директора на первой поверхности модулятора. Другое положение соответствует состоянию, когда направление входной поляризации перпендикулярно директору на входной плоскости, что также в выключенном состоянии ячейки ЖК будет давать минимум пропускания. Это объясняется тем, что при твист-эффекте в выключенном состоянии в ячейке ЖК происходит поворот эллипса поляризации входного излучения на угол поворота директора  $\alpha$  [6], а т.к.  $\alpha \approx 90^\circ$ , то линейная поляризация на выходе модулятора будет перпендикулярна анализатору. С точки зрения использования ПМС в качестве амплитудного модулятора оба эти положения равносильны, но в случае использования фазовой или гибридной модуляции необходимо установить точное положение входного директора, т.к. именно в нём модулятор будет производить максимальную модуляцию фазовой задержки, равной

$$\beta = 2\pi/\lambda(\eta_e(\text{GL}) - \eta_o), \quad (3)$$

Значение фазовой задержки будет меняться вследствие изменения показателя преломления для необыкновенной волны  $\eta_e$ , зависящей от напряжения на электродах ячейки, а значит и от уровня серого (GL = gray level) в изображении, выведенном на модулятор.

При этом было учтено, что пропускание ПМС-ЖК максимально при выключенном состоянии, поэтому для максимальной засветки в схеме голографической памяти можно просто отключать модулятор, а не выводить на него изображение белого цвета. Кроме того, белый цвет, соответствующий уровню серого 255, не обязательно даёт максимальное пропускание системы при заданном наборе параметров и углов поворота элементов схемы.

Таким образом, за направление директора  $\psi$  на входной поверхности модулятора можно принять либо угол в  $20^\circ$ ,

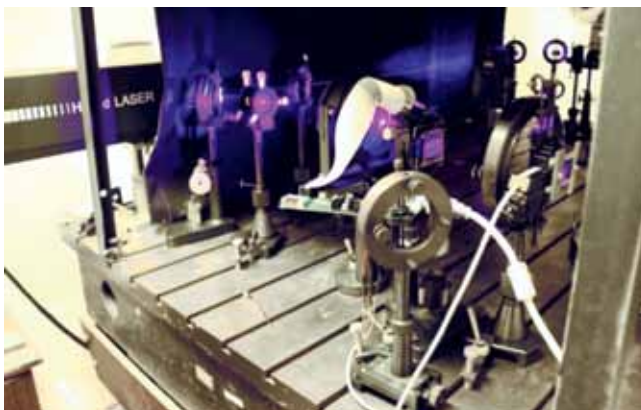


Рис. 6. Общий вид схемы экспериментального исследования амплитудных модуляционных характеристик ПМС-ЖК

### Нахождение директора ЖК



Рис. 7. Пропущенная мощность излучения при угле между поляризатором и анализатором, равном  $0^\circ$ , в зависимости от угла поворота ПМС-ЖК

либо 110°, что существенно отличается от 45°. Для проверки результатов эксперимента было решено провести дополнительное исследование работы ПМС-ЖК во включённом состоянии, когда тот повернут на угол  $\psi$ , рекомендованный производителем ЖК-модулятора ( $\psi \approx 45^\circ$ ).

Величину поворота молекулярного директора ЖК ( $\alpha \approx 90^\circ$ ) при выключенном состоянии ПМС можно не искать, т.к. при подаче разных величин напряжения на электроды ячейки  $\alpha$  всё равно изменится.

Далее ПМС-ЖК исследовался во включённом состоянии, то есть его коэффициент пропускания рассчитывался с учётом угла поворота директора  $\alpha$ , напрямую зависящего от напряжения на электродах ЖК-ячейки. Показания измерителя мощности снимались при всём доступном интервале напряжений. Уровень напряжения на ЖК-ячейке выражен уровнем серого (GL) в изображении, передаваемом на модулятор, в диапазоне от  $GL = 0$  до  $GL = 255$ . При этом в изображении будет задаваться однородный фон, т.е. страница полностью заполнена пикселями одного цвета.

Глубина модуляции рассчитывается по формуле:

$$[T(GL = 255) - T(GL = 0)] \times 100\%, \quad (4)$$

где  $T(GL = x)$  – измеренный уровень мощности излучения при выведенном на ЖК цвете  $x$ . С практической точки зрения, конфигурация, дающая максимальную глубину модуляции, наиболее предпочтительна [5].

В результате этого опыта были получены данные, представленные в виде графика на рис. 8. Из графика видно, что наивысший контраст, рассчитываемый по формуле  $(\langle 1 \rangle - \langle 0 \rangle) / (\langle 1 \rangle + \langle 0 \rangle)$ , даёт кривая, соответствующая углу поворота анализатора на  $60^\circ$ . Значение контраста между  $\langle 1 \rangle$  ( $GL = 0$ ) и  $\langle 0 \rangle$  ( $GL = 185$ ) в таком случае равно 0,984.

Затем был проведён эксперимент при положении элементов блока модуляции согласно рекомендациям производителя, т.е. в предположении, что входной директор ЖК направлен под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси ЖК-модулятора. Пропускание модулятора в этом случае оказалось практически таким же, как и в предыдущем опы-

те. То есть такую конфигурацию тоже можно использовать для модуляции по интенсивности, при которой в целом не имеет значение, в каком положении установлена входная ось поляризации, главное правильно установить выходной анализатор, чтобы пропустить максимум возможной энергии. Однако для распространения исключительно необыкновенной волны в транспаранте необходимо согласовать молекулярный директор с направлением входной поляризации. Особенно это важно в случае использования фазовой модуляции. Поэтому результаты первых опытов, дающих информацию о положении директора ЖК-модулятора, чрезвычайно важны.

Выберем конкретную конфигурацию взаимного расположения поляризатора, ПМС-ЖК и анализатора, а также уровни серого, которые будут задавать информационные единицы  $\langle 1 \rangle$  и ноль  $\langle 0 \rangle$  так, чтобы получался максимально достижимый контраст между ними.

Такая конфигурация характеризуется следующими значениями:

Угол Анализатор – ЖК	20°
Угол Анализатор – Поляризатор	60°
«1»	Яркость 0
«0»	Яркость 185
Контраст	0,984

### Описание эксперимента по определению фазовой модуляционной характеристики

На рис. 9 представлена фотография общего вида лабораторного стенда по исследованию фазовой модуляционной характеристики ПМС-ЖК.

Оптическая схема для экспериментального исследования фазовой модуляционной характеристики была построена на базе интерферометра Маха-Зендера. В схеме использовалось излучение He-Cd лазера с длиной волны 441,6 нм. Узкий пучок на выходе лазера разделялся на два при помощи светоделительного кубика, затем в обеих ветвях пучки расширялись при помощи телескопических систем, состоящих из микрообъектива, диафрагмы типа pin-hole и коллимирующего объектива. В ветви сравнения пучок проходил без изменения до плоско-

ЖК-модулятор повернут на угол 20°

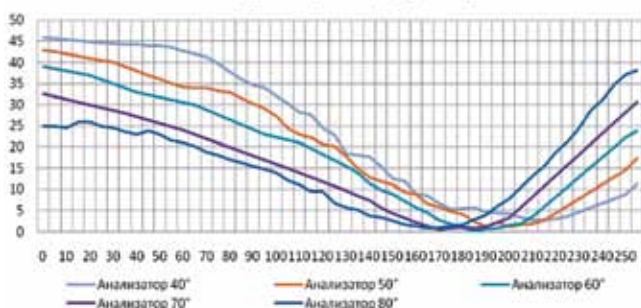


Рис. 8. Амплитудное пропускание ПМС-ЖК при различных уровнях серого в изображении (горизонтальная ось) и углах поворота анализатора относительно лабораторной вертикали (пять кривых разного цвета)



Рис. 9. Лабораторный стенд по исследованию фазовой модуляционной характеристики ПМС-ЖК



сти МПИ, тогда как в объектную ветвь вводился калибруемый ПМС-ЖК. Перед регистрацией на МПИ две ветви снова объединялись в одну светоделительным кубиком большего диаметра [7].

В результате в объединённом пучке формировалась интерференционная картина, несущая информацию о фазовой модуляционной характеристике ПМС-ЖК. Далее в схеме был установлен анализатор, а после него МПИ (ПЗС-камера), в регистрирующей плоскости которого формируется двумерное распределение интенсивности излучения в виде интерференционных полос.

На рис. 10 и 11 представлены фотографии ПМС-ЖК, установленного на ручном вращающемся столике, и анализатора, закреплённого на моторизованном вращающемся столике.

Электронный блок модулятора подключён к персональному компьютеру, который передаёт на него требуемое изображение, состоящее из двух широких полос с разным оттенком серого для исследования фазовой модуляционной характеристики. Для удобства текущий (изменяемый или исследуемый) цвет выводился только на одну половину поля модулятора. На другую половину поля модулятора был выведен цвет, принятый как опорный, т.е. для которого фазовая задержка считалась равной нулю. На рис. 12 представлена характерная интерференционная картина, регистрировавшаяся в эксперименте. Посередине фотографии чётко видна горизонтальная граница между двумя интерференционными картинками, сдвинутыми друг относительно друга.

Между интерференционными картинками от двух разделённых пучков, один из которых проходит через верхнюю половину поля ПМС, а другой через нижнюю, образуется некий сдвиг. Он превышает половину ширины интерференционной полосы, что соответствует фазовому сдвигу больше  $\pi$ . Этот сдвиг, выраженный в относительных долях ширины полосы интерференционной кар-

тины, впоследствии измерялся для нахождения фазовой модуляционной характеристики [8].

Эксперимент по исследованию фазовой модуляции проводился для тех наборов параметров схемы, которые были изучены во время эксперимента по амплитудной модуляции, так как для реализации гибридного кодирования нужно знать обе эти характеристики. Наиболее важным будет провести измерения тех конфигураций, которые дали максимальный контраст по амплитудному пропусканию.

В первую очередь была измерена фазовая модуляционная характеристика для набора параметров, выявленных в ходе первого опыта, то есть с заданным:

- углом между входным директором ЖК и поляризатором, равным  $20^\circ$ ;

- углом между анализатором и поляризатором, равным  $60^\circ$ .

При этом одна половина экрана сохраняет свой цвет в течение всего эксперимента, это опорный цвет, относительно которого будет измеряться фазовая задержка. В данном эксперименте за опорный цвет верхней половины экрана был выбран чёрный.

В результате эксперимента весь набор полученных изображений интерференционных картин, аналогичных рис. 12, был в дальнейшем обработан в среде Matlab. В результате были получены профили, соответствующие распределению интенсивности в интерференционных полосах, в которых нивелированы шумы регистрации. На рис. 13 представлены графики распределения интенсивности, полученные после обработки.

Так же была произведена дополнительная фильтрация значений в полученных векторах-строках на основе удаления высоких частот из их Фурье-образов [8]. Примеры профилей распределения интенсивности излучения в интерференционных картинках, полученные в результате такой фильтрации, представлены на рис. 14 и 15.

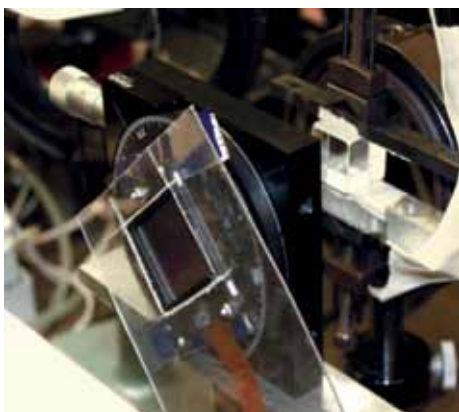


Рис. 10. ПМС-ЖК фирмы HoloEye, закреплённый на вращающемся устройстве для изменения угла между направлением директора на входной плоскости и плоскостью поляризации лазерного излучения



Рис. 11. Поляризационный анализатор, закреплённый на моторизованном вращающемся столике

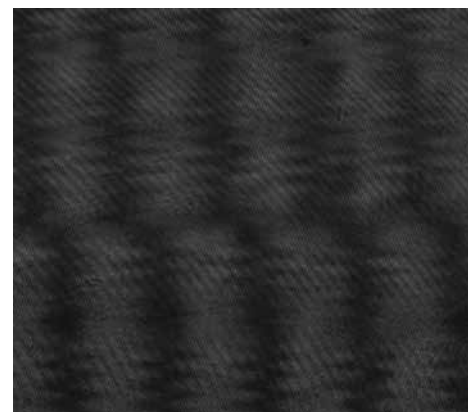


Рис. 12. Интерференционная картина в плоскости регистрации ПЗС-камеры для схемы ПМС-ЖК с углом между анализатором и поляризатором  $60^\circ$  и уровнем серого  $GL = 165$



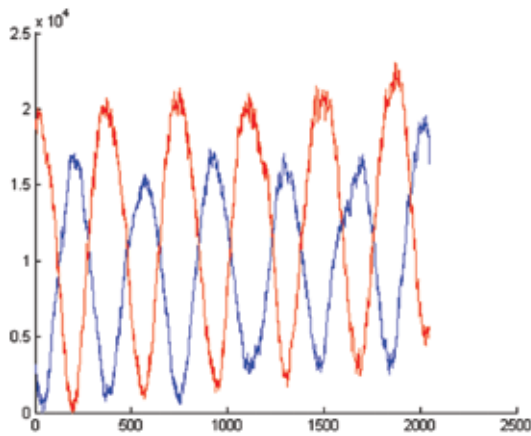


Рис. 13. Профили интерференционных картин: линия синего цвета – профиль верхней (неизменяемой) части; красного цвета – профиль нижней (изменяемой) части изображения

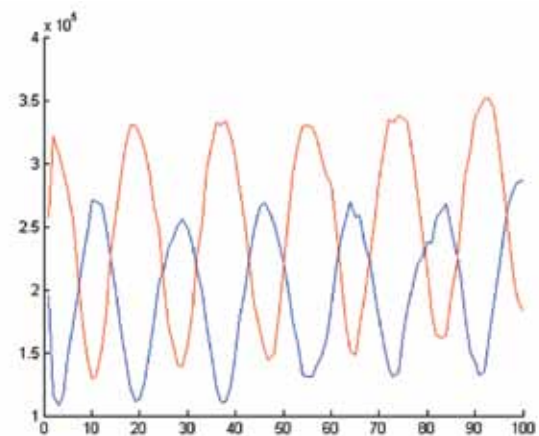


Рис. 14. Сглаженные кривые распределения интенсивности излучения в интерференционных картинах, полученные при низкочастотной фильтрации

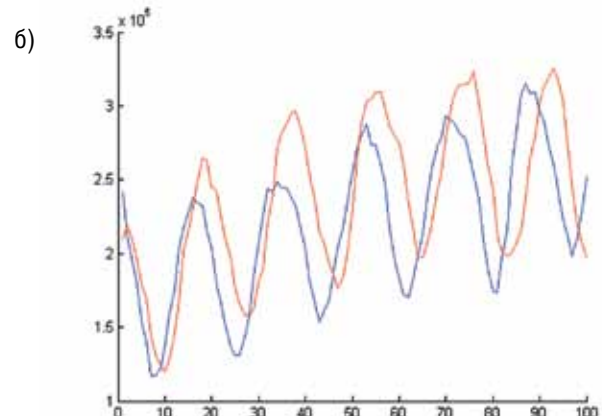
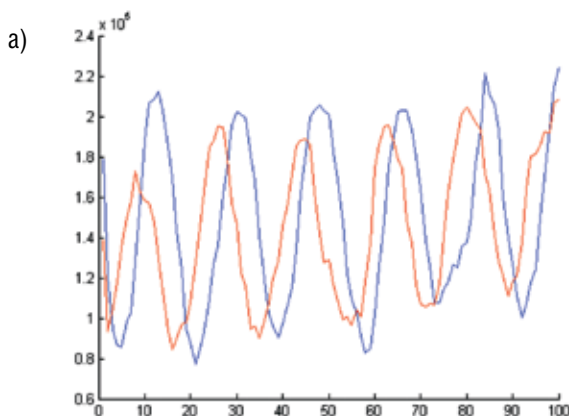


Рис. 15. Пример смещения профилей интерференционных картин при изменении уровня серого в изменяемой части изображения от  $GL = 40$  (а) до  $GL = 170$  (б)

На рис. 15 видно, что при увеличении значения уровня серого профиль соответствующей интерференционной картины (красная линия) смещается вправо относительно неподвижной картины от опорного пучка (синяя линия).

После нахождения локальных максимумов синих и красных линий, соответствующих друг другу, выводятся их индексы (координаты по оси абсцисс), а разность этих индексов, получаемая вычитанием индекса синей кривой из индекса красной, даёт смещение по фазе между двумя линиями, а следовательно, и между двумя интерференционными картинами. Если учесть, что ширина полосы между локальными максимумами по оси абсцисс соответствует полному кругу фаз, то можно рассчитать, какая фазовая задержка была в каждом случае для конкретного уровня серого, используя формулу 3.

Полученный график зависимости фазовой задержки от уровня серого представлен на рис. 16 (за ноль фазовой задержки принят уровень серого  $GL = 0$ ). Видно, что ПМС позволяет осуществить модуляцию фазы проходящего излучения от  $0$  до  $360^\circ$ .

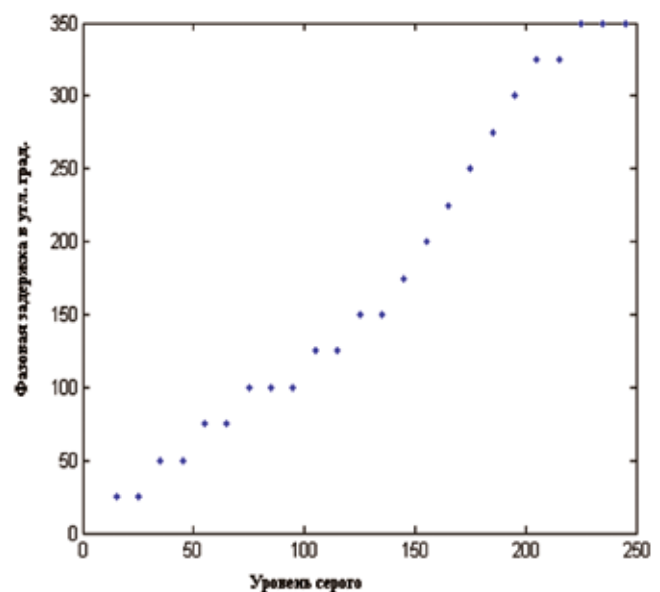


Рис. 16. Фазовая модуляционная характеристика исследуемого ПМС-ЖК

На рис. 17 приведён график амплитудной и фазовой модуляционных характеристик, из которого легко определить три точки, оптимальные для реализации гибридной модуляции.

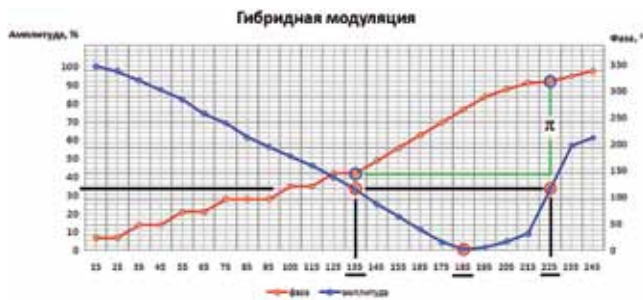


Рис. 17. Обобщённый график модуляционных характеристик ПМС-ЖК

Для формирования нулей в схеме гибридной модуляции [4] следует задать уровень серого 185 с минимальным амплитудным пропусканием, а для формирования единиц надо выбрать два уровня, дающих одинаковое, достаточно высокое пропускание, но отличающиеся примерно на  $\pi$  радиан по фазовому сдвигу. Это могут быть уровни серого  $GL = 135$  и  $GL = 225$ , сдвиг фаз между которыми равен  $180^\circ$ , а амплитудное пропускание для обоих равно 33%.

Итоговая схема ПМС-ЖК должна иметь следующие параметры:

ЖК	A	0	1 (a)	1 (б)
$20^\circ$	$60^\circ$	185	135	225

**Исследование модуляционных характеристик ПМС-ЖК для системы с высокой плотностью хранения информации**

Отдельный интерес представляет собой эксперимент по исследованию модуляционных характеристик для параллельного положения анализатора и ЖК-панели, что значительно более выгодно с точки зрения компактности схемы записи, а значит, и с точки зрения ёмкости голографического носителя. Ведь при таком взаимном положении этих двух элементов они будут занимать меньше места в пространстве, а значит, можно будет уместить большее количество каналов записи для мультиплексирования голограмм. Вместе с ростом числа каналов мультиплексирования растёт и ёмкость носителя.

Тогда угол поворота ЖК-панели и анализатора задаёт угол выходной поляризации, при этом входная поляризация может быть повернута произвольно. Именно за счёт этого угла поворота можно найти наиболее оптимальное положение, и именно этот угол будет меняться в ходе следующего эксперимента.

Чтобы выбрать точки гибридной модуляции, необходимо вначале исследовать прохождение сигнала по амплитудной составляющей. Для расчёта коэффициента про-

пускания ЖК-ячейки измерим уровень сигнала в объектной ветви без ЖК-панели. Диаграмма на рис. 18 демонстрирует пропускание ПМС-ЖК в зависимости от трёх различных параметров схемы.

Эта диаграмма представляет собой поверхность с максимумами каждой кривой в области уровня серого  $GL = 180 - GL = 200$ . Гребенчатая структура обеспечена различиями в условиях проведения эксперимента для разных углов совместного поворота системы ЖК – анализатор, поэтому её не нужно учитывать. С другой стороны, наблюдается однотипность для всех кривых, из чего можно сделать вывод, что вне зависимости от выбранного угла поворота элементов относительно входной поляризации, график амплитудного пропускания будет одинаковым. Наибольшее пропускание наблюдается в интервале маленьких углов, что видно из рис. 18. Производителем также советуется устанавливать элементы ЖК-модулятора параллельно плоскости поляризации излучения.

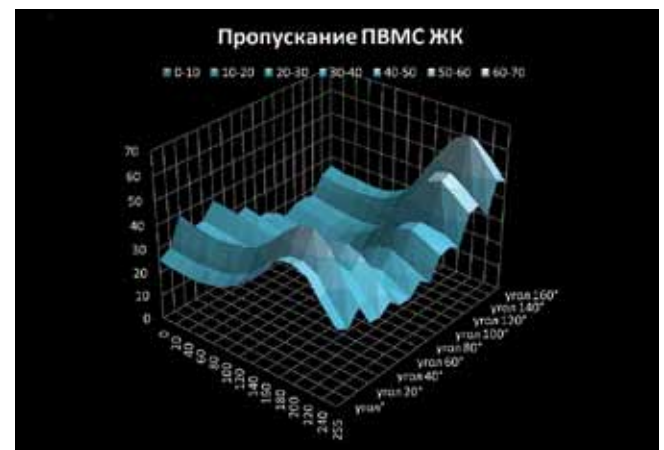


Рис. 18. Коэффициент пропускания ПМС-ЖК (в процентах) в зависимости от углов поворота элементов и уровней серого

Ниже представлен график для угла поворота модулятора и анализатора относительно входной поляризации лазерного излучения, равного  $100^\circ$ .

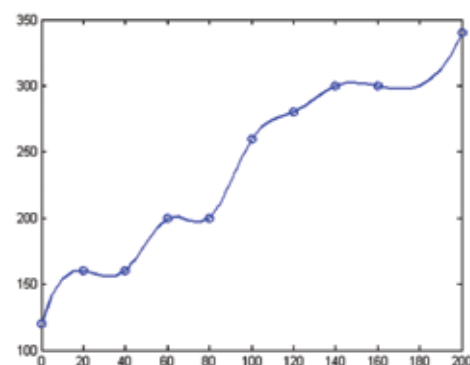


Рис. 19. Фазовая модуляционная характеристика ПМС-ЖК при совместном повороте модулятора и анализатора на  $100^\circ$

Аналогичные графики были получены и для других углов поворота. Ранее было показано, что кривые ам-

плитудной модуляции тоже не сильно меняются при разных углах. Таким образом, достаточно выбрать одну пару кривых, чтобы определить точки гибридной модуляции. Совместим кривые на одном графике (рис. 20).



Рис. 20. Обобщённый график модуляционных характеристик для схемы параллельных модулятора и анализатора

Из графика (рис. 20) видно, что такая схема непригодна для системы голографической памяти, так как добиться идеального состояния для гибридной модуляции сложнее, чем при раздельном вращении поляризатора и анализатора (рис. 17).

Для получения максимального контраста, равного 47%, возможно задать только одну точку высокого пропускания на уровне  $GL = 220$ , а для гибридной модуляции нужно две таких точки (кружком отмечены «1» и «0»).

Если же выбрать две точки на одном уровне амплитуды пропускания (отмечены одинарными прямоугольниками), то разница фаз между двумя «1» составит как раз  $180^\circ$ , то есть  $\pi$  радиан (точки на фазовой кривой, обозначенные двойными прямоугольниками). Однако контраст между «1» и «0» будет тогда равен всего 17%. Распознать единицы и нули в восстановленном с голограммы изображении с таким контрастом будет очень сложно. Поэтому от этой схемы надо отказаться, хотя она и даёт некоторое преимущество по плотности записи, так как является более компактной.

Ввиду результатов, полученных в ходе проведённых экспериментов, можно сделать вывод, что в системе голографической памяти необходимо применить схему с разделёнными модулятором и анализатором излучения. Именно в такой схеме можно получить идеальную гибридную модуляцию страниц данных (рис. 17).

### Научная новизна работы

Впервые был исследован ПМС-ЖК марки HoloEye НЕО-0017 и были описаны его модуляционные характеристики, на основании которых стало возможным задать параметры схемы, удовлетворяющие требованиям системы голографической памяти. Причём эти результаты оказались отличными от указаний производителя ПМС-ЖК.

Была разработана новая методика обработки экспериментальных данных с целью получения точной амплитудной и фазовой модуляционных характеристик. Анализ

данных характеристик позволил определить наилучшие параметры схемы с гибридным кодированием данных, а именно: углы между элементами блока модуляции и уровни напряжения на электродах ЖК-ячейки. В таком случае можно получить идеальное качество микроголограмм, что необходимо в условиях постоянной борьбы за высокую плотность записи и объём хранимой информации.

### Заключение

Пространственный модулятор света является важным компонентом в системе голографической памяти. Доступные ПМС-ЖК, как правило, предназначены лишь для систем отображения информации. Их использование в системах голографической памяти сдерживается рядом факторов, таких, как ограниченная глубина модуляции, низкий контраст, большой размер пикселя и перекрёстные помехи при фазовой и амплитудной модуляции. Поэтому крайне важно знать величины некоторых из этих параметров для улучшения качества хранения данных.

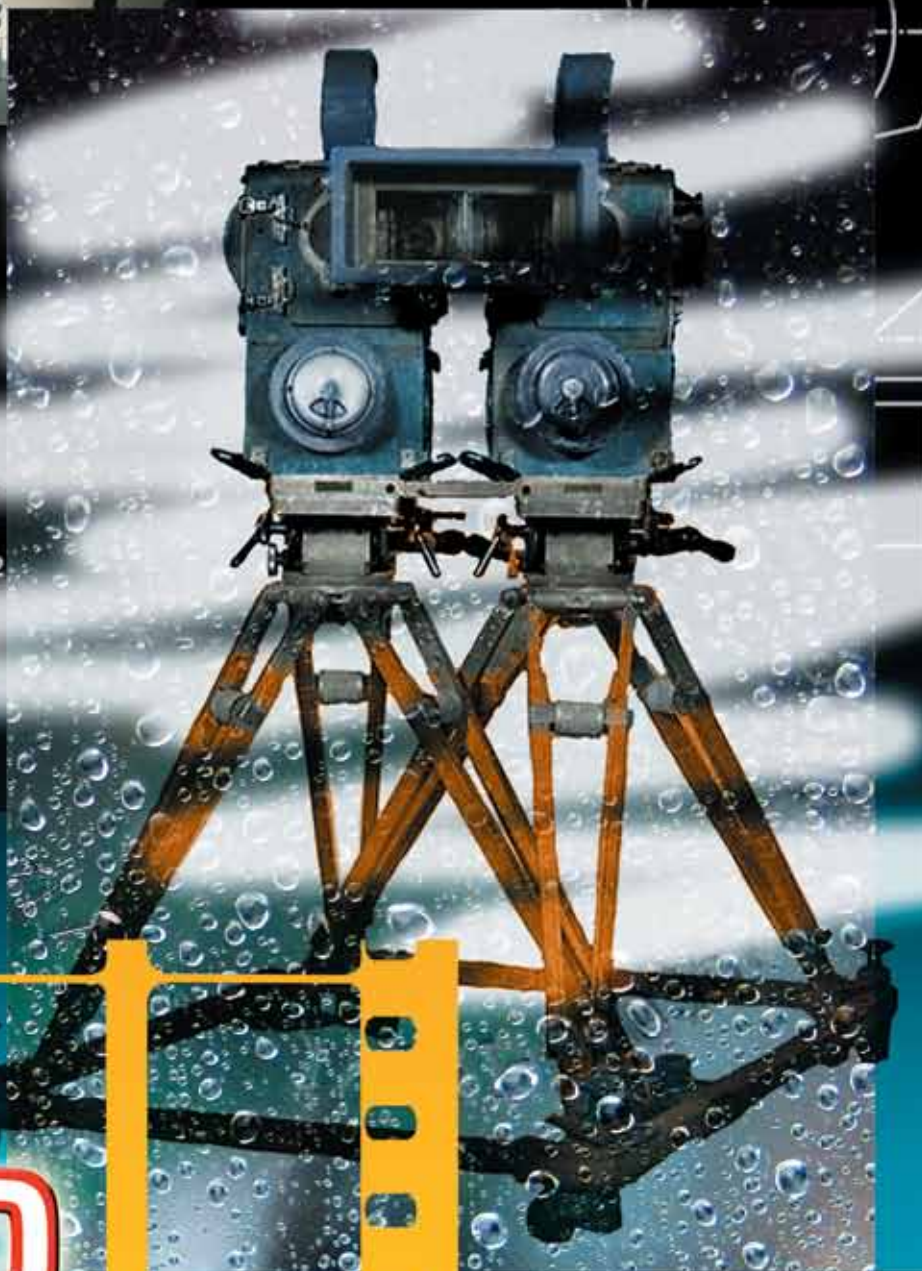
В работе описан метод исследования ПМС-ЖК, дающий точные результаты, необходимые для использования модуляторов в системах голографической памяти. Также приведена схема лабораторного стенда, описание эксперимента и результаты исследования.

В ходе эксперимента было выявлено, что как амплитудная, так и фазовая составляющая сильно зависят от расположения оптических элементов, причём эта зависимость носит явный нелинейный характер. При этом, если схема записи страниц данных позволяет вводить различные углы поворота анализатора и поляризатора лазерного излучения, можно легко реализовать гибридный метод модуляции страницы данных, необходимый для получения высокой плотности хранимой информации и правильного распознавания восстановленных бит данных. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лушников Д.С., Маркин В.В., Одинокоев С.Б. и др. Устройство записи мультимедийных голограмм в системе оптико-голографической памяти. Патент RU 80 968 U1.
2. [http://www.kompstat.ru/view\\_sostav.php?id=7](http://www.kompstat.ru/view_sostav.php?id=7)
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/LCD>
4. Renu JOHN, Joby JOSEPH and Kehar SINGH. Content-addressable Holographic Digital Data Storage Based on Hybrid Ternary Modulation with a Twisted-Nematic Liquid-Crystal Spatial Light Modulator. OPTICAL REVIEW Vol. 12, No. 3, p. 155–160, 2005.
5. BANYAL R.K. Data Storage and Retrieval using Photorefractive Crystals (Holographic Memories). A Thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy. Indian Institute of Astrophysics. Bangalore, 560034, INDIA, 2005.
6. Yang D.-K., Wu S.-T. Fundamentals of Liquid Crystal Devices. John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
7. Fernández Elena, Ortuño Manuel, Gallego Sergi, García Celia, Márquez Andrés, Beléndez Augusto, Pascual Inmaculada. Multiplexing holograms for data page storage using a LCD as a hybrid ternary modulation. SPIE Vol. 7358, 73581C-1, 2009.
8. Martín-Badosay E., Carnicer A., Juvells I. and Vallmitjana S. Complex modulation characterization of liquid crystal devices by interferometric data correlation. Meas. Sci. Technol., p. 764–772, 1997.





**НАЧАЛА РЕГУЛЯРНОГО ПОКАЗА  
СТЕРЕОФИЛЬМОВ  
в России**





# СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СТЕРЕОКИНО



Н.А. Майоров,  
режиссёр-оператор, киновед,  
член Международной Федерации журналистов

■ В первый том «Летопись российского кино. 1863 – 1929» киновед Рашит Янгиров (один из её составителей) включил сообщение, опубликованное в четвёртом номере «Кине-журнал» за 1911 год, из которого следует, что в начале марта 1911 года «в Петербурге открылся электротئاتр «Танагра», где демонстрировались картины со «стереоскопическими изображениями» по патенту Оскара Месстера (Oskar Messter) и в технике «Кинемаколор»».

Это крошечное сообщение опровергает общепринятую и широко распространяемую в литературе и Интернете информацию о том, что первый в истории кинематографа коммерческий показ стереофильмов состоялся 10 июня 1915 года в Нью-Йорке. То есть наши соотечественники в Петербурге были одними из первых зрителей стереофильмов. А коммерческая демонстрация стереоскопических фильмов началась в Европе, как минимум, на четыре года раньше, чем в Америке. Я написал «как минимум», так как думаю, что Россия не была первой страной, где началась демонстрация стереофильмов по системе О. Месстера. Так это или нет, сегодня установить трудно. Но факт демонстрации стереокино в Петербурге в 1911 году зафиксирован в периодической печати, так же как и факт демонстрации объёмного кино в Одессе. Об этом дважды сообщали московские «Новости недели». Сначала в №№ 37–38 за 1912 год, затем в №№ 12–13 за 1913 год. Рашит Янгиров также включил это сообщение в «Летопись...» Вот оно: «В Одессе состоялась демонстрация «Кинепластикона» – «театра искусственных людей» – киноаттракциона, воспроизводившего стереоскопическое изображение на особом стеклянном экране с «эффектом реальности» и сопровождавшегося синхронизированным звучанием фонографа».

Каких-либо данных о разработках систем стереокино в дореволюционной России пока обнаружить не удалось.

А вот в советской России такие работы начались с 1925 года. Известно, что именно в этом году советский изобретатель А.К. Кауфман занялся изучением вопроса применения стереоскопов для кинематографа. Над этой проблемой также работали Б.А. Дунаев, В.П. Шепелюк и другие. В 1926 году Н. Клемпнер продемонстрировал свой вариант стереоскопического кинофильма по методу цветных анаглифов.

Советский изобретатель профессор Николай Дмитриевич Анощенко 7 мая 1930 года получил патент на двухцветный аддитивный способ «Спектроколор», который был аналогом системы «Кинемаколор». Интересно, что премьера первого советского цветного документального фильма «Праздник труда», снятого по этой системе, состоялась 1 августа 1931 года на открытии в Москве нового кинотеатра «Восток-кино», который в середине 40-х годов прошлого века был переоборудован в постоянно действующий кинотеатр для демонстрации стереоскопических фильмов.

Используя систему «Спектроколор», Н.Д. Анощенко разработал процесс съёмки и демонстрации стереоскопических фильмов, основанный на аддитивном способе цветных анаглифов, и снял короткометражный стереофильм. Этот способ нашёл применение в аттракционе «Чудеса теней», который демонстрировался в московском кинотеатре «Колосс» в 30-е годы прошлого века. (Большой зал московской консерватории с 1924 по 1933 год был отдан в аренду Межрабпому и в дневные часы он использовался как кинотеатр, крупнейший в Москве, и по праву носил название «Колосс». С ноября 1930 года он стал звуковым. Кстати, именно в этом кинотеатре 1 июня 1931 года состоялась премьера первого советского звукового полнометражного игрового фильма «Путёвка в жизнь»).

В 1936 году для проекции стереофильмов по анаглифному субтрактивному методу с применением стереоочков с красно-синими фильтрами профессор Евсей Михайлович Голдовский и кинооператор Андрей Леонидович Левингтон во Всесоюзном научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ) предложили использовать

плёнку дипофильм, которая применялась для печати копий цветных фильмов, снятых по двухцветному методу. Дипофильм выпускался с двухсторонней эмульсией, каждая из которых после проявления окрашивалась в красный и зелёный цвета левого и правого изображений. Такая фильмокопия могла демонстрироваться в любом кинотеатре с помощью стандартного кинопроектора. В 1938 году по этому способу был снят экспериментальный стереоскопический фильм. Для его съёмки была использована специальная установка из двух спаренных кинокамер, сконструированная в НИКФИ Василием Ивановичем Омелиным. Эта установка позволяла снимать одновременно два изображения на две 35-мм киноплёнки, идущие параллельно и синхронно. Расстояние между объективами этих камер составляло 65 мм, что соответствовало среднему базису зрения человека.

По этому методу режиссёр Александр Лукич Птушко и оператор Николай Степанович Ренков снимали стереофильм «Выходной день в Москве». Этот чёрно-белый фильм и экспериментальные цветные стереоскопические этюды режиссёра Николая Владимировича Экка и оператора Фёдора Фёдоровича Проворова демонстрировались в 1940 году в зале кинохроники кинотеатра «Художественный» в Москве.

Съёмка цветных фрагментов велась установкой из двух спаренных киноаппаратов ЦКС-1 (рис. 1), применявшихся для цветной съёмки по советскому трёхплёночному способу. Для уменьшения базиса стереосъёмки, кото-

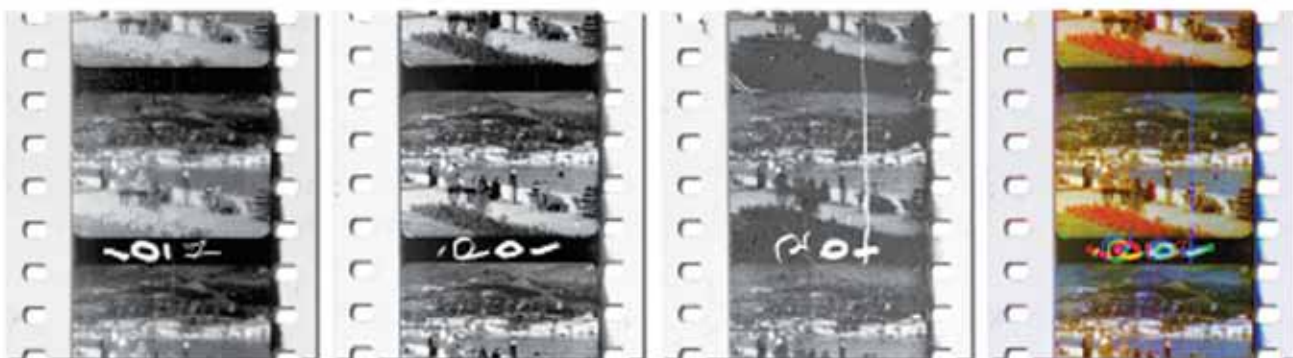


Рис. 1. Установка из двух киноаппаратов ЦКС-1 для цветной стереосъёмки

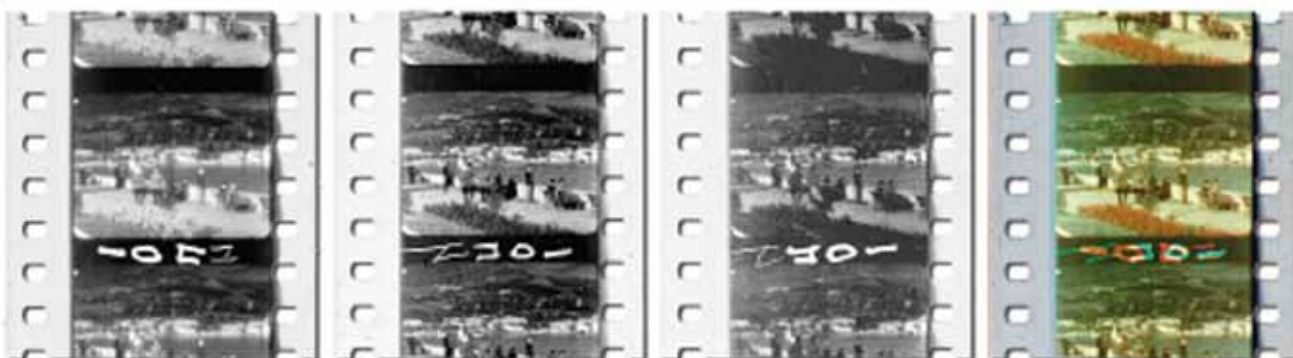
рый составлял почти 300 мм, была изготовлена специальная общая оптическая насадка.

С отснятых цветоделённых негативов гидротипным способом печатались два цветных позитива: один – с правыми, а другой – с левыми изображениями стереопары (рис. 2, 3, 4).

Для проекции использовались два синхронно работающих кинопроектора с поляризационными фильтрами, изготовленными в НИКФИ под руководством и по технологии Николая Адамовича Валуся на основе впервые полученного Герпатом в 1853 году герпатита (дихроичного кристалла – сернокислого иод-хинина). Демонстрация фильмов велась в поляризованном свете: в киноте-



Изображения левого ракурса стереопары



Изображения правого ракурса стереопары

Рис. 2. Цветоделённые позитивы из экспериментального цветного стереоролика, снятого на шесть плёнок установкой из двух трёхплёночных киноаппаратов ЦКС-1, и цветные гидротипные позитивы с них (из коллекции С.Н. Рожкова, НИКФИ)



Рис. 3. Кадр из экспериментальной цветной стереосъёмки по трёхплёночному способу установкой из двух киноаппаратов ЦКС-1 (1940)



Рис. 4. Набережная Ялты. Весна 1940 года 

атре «Художественный» на просвет на недеполяризующий стеклянный экран с матированной поверхностью, а в НИКФИ и ДOME кино на алюминированный экран.

Первая система стереокино С.П. Иванова в 1935 году открыла эпоху безочкового стереоскопического кинематографа.

За три века до этого, в 1692 году, французский живописец Г.А. Буа-Клэр (G.A. Vois-Clair) начал использовать растровую решётку для получения пространственного эффекта. Художник рисовал два различных изображения на плоской поверхности, перед которой устанавливалась специальная решётка из вертикальных пластин, расположенных перпендикулярно к её поверхности и закреплённых под прямым углом. Глядя с левой стороны, зритель видит одно изображение, с правой – другое, глядя прямо, зритель видит оба изображения в объёме. Работы Буа-Клэра экспонируются в замке Розенборг в Копенгагене. А в Брюссельском музее изобразительных искусств выставлены аналогичные картины, но с тремя различными изображениями (вспомните японские открытки с подмигивающими девушками).

Идея использовать растровую сетку для раздельного видения левым и правым глазом была повторно выдвинута в 1896 году французом А. Бертье (A. Berthier) и Ф. Лизегангом (F. Liesegang). Американский учёный Фредерик Айвс в развитие идеи Бертье-Лизенганга в 1904 году обосновал и представил Французской академии наук метод «Параллакс-стереограммы», положив начало принципу растровой стереоскопии. Суть этого принципа состоит в проекции изображения на экран через растр, состоящий из чередующихся вертикальных параллельных

непрозрачных полос и щелей между ними. Изображение, спроецированное через такой растр, частично поглотится непрозрачными элементами растра, а частично, пройдя между ними, отразится на экране. При соответствующем расчёте элементов растра в зале образуется множество точек, из которых один глаз зрителя будет полностью видеть на экране все полосы изображения, в то время как другой глаз ничего не будет видеть. При проекции через такой растр на экран левого и правого кадров стереопары с двух, установленных на определённом расчётном расстоянии друг от друга проекторов, каждый глаз зрителя в определённой позиции будет видеть только для него предназначенное изображение. В результате слияния этих двух изображений в мозгу зрителя возникнет стереоскопический эффект.

В 1906 году М. Эстанав реализовал этот принцип на практике, создав автостереоскопическую фотопластинку, то есть, выражаясь современным языком, разработал и практически реализовал способ съёмки и наблюдения стереоскопического изображения на фотоплёнке с использованием параллельного растра.

А. Бертье, Ф. Лизеганг, Ф. Айвс, М. Эстанав своими работами внесли неоценимый вклад в дело создания безочковой стереоскопии. Однако использование параллельного растра для демонстрации стереоскопических изображений массовой аудитории практически невозможно, так как фокальная плоскость всегда будет расположена параллельно плоскости экрана и только на ней формируются фокальные зоны, из которых зритель может наблюдать стереоскопическое изображение. На практике это означает, что зрители должны располагаться только в одном ряду и вертикально друг над другом ярусами.

Семён Павлович Иванов решил задачу демонстрации стереоскопического изображения массовой аудитории, предложив использовать не параллельный, а перспективный растр. Проще говоря, рассчитал и создал растровый экран с множеством фокальных зон в плоскости, близкой к горизонтальной.

«Если бы даже изобретателю не удалось на практике добиться стереоскопического эффекта, всё равно его работа вошла бы в науку. Чисто математическое решение проблемы примечательно по своей красоте, ясности, стройности, остроумию...», – такую оценку работе С.П. Иванова дал академик Пётр Леонидович Капица, ознакомившийся с его изобретением и расчётами.

С.П. Иванов 29 апреля 1935 года подал заявку на светопоглощающий растровый экран, а 23 февраля 1936 года – на светосильный растровый экран. 1 марта 1937 года он подал заявку на стереонасадки к кинокамере и кинопроектору и в июне этого же года совместно с кинооператором Н.К. Филипповым изготовил первый светопоглощающий стереоэкран на стекле размером 110×70 см.

В декабре 1937 года под руководством инженера Бориса Тимофеевича Иванова был сконструирован и изготовлен металлический проволочный стереоэкран размером 2,25×3 м.



В декабре 1939 года под руководством С.П. Иванова режиссёр Александр Николаевич Андриевский и оператор Дмитрий Васильевич Суренский сняли к 20-летию советской кинематографии экспериментальный стереоскопический ролик, в начале 1940 года провели экспериментальные съёмки на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке в Москве (рис. 5).



Рис. 5. Кадры из экспериментальных стереофильмов по первой системе С.П. Иванова (1939–1940)

В марте 1940 года на киностудии «Союздетфильм» был установлен светопоглощающий стереоэкран размером 110×70 см и осуществлена первая экспериментальная стереоскопическая проекция для зрителей.

«В небольшом зале происходит первая демонстрация кусков стереоскопического фильма. Вдруг неожиданно вы с досадой замечаете, что не убран свешивающийся с потолка зрительного зала патрон, который загораживает часть экрана. Но каково же ваше удивление, когда рука девушки с сачком для ловли бабочек тянется с экрана в центр зала и, подхватив патрон, подтягивает его к себе, затем ввинчивает электрическую лампочку и отпускает патрон, который, раскачиваясь, приближается к самому зрителю.

Вот другой момент. Над вами протянут провод, конец которого теряется в темноте, где-то над головой. Вылетающие с экрана голуби садятся на провод и раскачиваются на нём. У зрителя создаётся полная иллюзия, что это живые голуби, находящиеся в самом зрительном зале.

Наконец, когда девушка на экране выплёскивает содержимое стакана в зрительный зал, у вас невольно появляется желание несколько отодвинуться в сторону, чтобы не быть облитым.

Впечатление от просмотра уже первых кусков стереоскопического фильма поражающее». Эти впечатления Бориса Тимофеевича Иванова о первом стереосмотре опубликовал журнал «Техника молодёжи» летом 1940 года.

А кинорежиссёр Михаил Ильич Ромм в «Книге впечатлений» киностудии «Союздетфильм» оставил такую запись: «Это начало совершенно новой эры кинематографии. Ясно, что уже через несколько лет стереокино станет для нас тем же, чем стало звуковое».

На одной из лекций киновед Н.В. Крючечников рассказал такую историю-легенду: «...через несколько дней после первой демонстрации слух о чудо-кино до-

шёл до Сталина. «Лучший друг советских кинематографистов» после просмотра в личном кинозале в Кремле, где в спешном порядке был установлен первый растровый экран С.П. Иванова, высказал полное удовлетворение и повелел показать изобретение широким народным массам. Желание вождя – Закон». Легенда это или быль, кто знает?! Но безочковому стереокино в СССР был дан зелёный свет, а изобретатель этой системы С.П. Иванов получил Сталинскую премию.

Для показа стереофильмов по системе С.П. Иванова массовому зрителю к началу 1941 года был переоборудован кинотеатр «Москва». («Москва» – один из старейших кинотеатров России под названием «Пегас» был открыт А.А. Ханжонковым в ноябре 1913 года на площади Старых Триумфальных ворот, в 1935 году переименованной в площадь Маяковского. В 1936 году после реконструкции и кинотеатр получил новое название – «Москва». В 50-е годы кинотеатр был встроено в многоэтажное административное здание, а в середине 70-х годов была проведена его очередная реконструкция. В конце XX века кинотеатр получил название «Центр Российской кинематографии «Домь Ханжонкова». Почти два десятилетия, в конце прошлого и начале нового века, он был единственным в Москве кинотеатром, где изредка демонстрировались советские стереоскопические фильмы в формате «Сtereo-35А» по поляризационному методу). В нём был установлен стереоэкран со светопоглощающим проволочным растром, рассчитанный и сконструированный Борисом Тимофеевичем Ивановым. «Для создания экрана больших размеров фотомеханическим путём пришлось бы организовать довольно сложную производственную мастерскую с новым уникальным оборудованием, что, несомненно, потребовало бы большого количества времени и средств. Наша же задача заключалась в том, чтобы найти наиболее быстрый и практический способ осуществления стереоскопической проекции». Так в 1945 году Б.Т. Иванов объяснил причину создания первого большого растрового экрана из проволоки (рис. 6).



Рис. 6. Экран кинотеатра «Москва» с установленным проволочным растром



Всего на создание растра площадью 25 м<sup>2</sup>, состоявшего из 30 тысяч проволочек длиной от 5 до 8 м, было израсходовано около 100 кг проволоки. Квадратную форму экрана предполагалось использовать в дальнейшем для проекции стереопары с квадратными кадрами.

Первый в мире стационарный кинотеатр для демонстрации стереоскопических фильмов по безочковому методу открылся в Москве 14 января 1941 года (рис. 7).



Рис. 7. Кинотеатр «Москва». Февраль 1941 года. (фото из собрания РГАКФД)

На следующий день, 15 января, газета «Правда» писала: «Картину предполагается показать москвичам в ближайшее время. В зале впереди зрителей будет устроено приспособление, облегчающее подбор высоты для глаз. Правильность выбранной позиции можно будет проверить и по светящемуся кружку с левой стороны экрана: этот кружок зритель должен видеть правым глазом, прикрыв левый. При этих условиях стереоскопический эффект будет наиболее полным» (рис. 8).

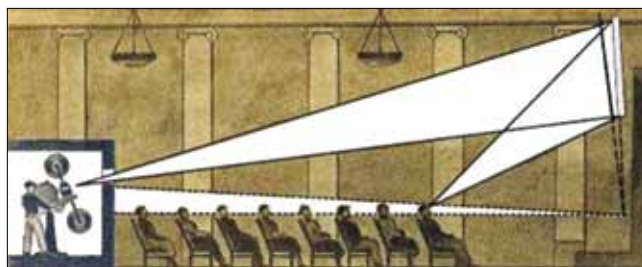


Рис. 8. Принципиальная схема проекции стереоскопического фильма в кинотеатре «Москва». (Верхняя и нижняя границы фокальной зоны обозначены пунктиром. Глаза зрителей, находящиеся в пределах этой зоны, видят на экране объёмное изображение)

Несколько дней в кинотеатре шла отладка оборудования и специальные просмотры для специалистов, партийно-хозяйственного актива столицы, творческой интеллигенции и представителей прессы.

21 января 1941 года Управление по контролю за кино-репертуаром Комитета по делам кинематографии при Совнаркоме СССР выдало на стереофильм «Концерт» бессрочное разрешительное удостоверение № 901/41 (рис. 9).



Рис. 9. Разрешительное удостоверение на стереофильм «Концерт» («Земля молодости») (1941)

### Характеристики стереопроекции и параметры зала кинотеатра «Москва» (1941)

Размеры зала:  
 ширина – 10,27 м; длина – 29,46 м; высота – 8,7 м.  
 Количество мест – 384 (24 ряда по 16 кресел в каждом).  
 Расстояние от экрана до первого ряда – 8 м.  
 Экран – со светопоглощающим перспективным растром.  
 Общая площадь оптической поверхности растрового экрана – 25 м<sup>2</sup>.

Размер изображения на экране: ширина – 3,1 м, высота – 5 м.  
 35-мм кинопроекторы: – «КЗС-22» – 2 основных, 1 резервный.  
 Ширина плёнки – 35 мм.  
 Размер каждого кадра стереопары – 11,25x18 мм.  
 Фонограмма – оптическая, монофоническая, расположенная посередине плёнки между кадрами стереопары.  
 Система стереокино – «Сtereo-35»

Советским зрителям открылась возможность впервые в мире увидеть стереоскопическое изображение в кино без применения очков и других индивидуальных приспособлений.

4 февраля 1941 года началась регулярная демонстрация первого советского стереоскопического фильма, снятого по первой системе С.П. Иванова – «Концерт» («Земля молодости»). Фильм был снят на киностудии «Союздетфильм» режиссёром Александром Николаевичем Андриевским и оператором Дмитрием Васильевичем Суренским в жанре фильма-концерта, состоявшего из 7 фрагментов (7 ч., 1075 м).

Перед входом в зрительный зал публике раздавались листовки с рекомендациями «сохранять горизонтальное положение глаз, смотреть стереофильм с позиции, откуда надписи кажутся висящими перед экраном, а не за ним». К сожалению, таких позиций было немного, от 3 до 7 на каждое кресло. И зрителям приходилось потрудиться, чтобы «поймать» стереоэффект и не «отпустить» его.

Некоторые «трудности» просмотра стереофильма в первом безочковом стереокинотеатре не стали помехой восторженным оценкам кинозрителей и газетных отчётов того времени.

«...Через несколько минут начнётся сеанс, которому суждено положить начало массовому безочковому показу объёмных фильмов».

«Медленно гаснет свет. Звуки музыки, первые надписи. И вдруг они отделились от экрана и повисли в воздухе. За ними – огромное морское пространство. Плещут живые, объёмные волны, брызги летят в зал».

«Воздействие третьего измерения огромно. Нет экрана, вместо него – распахнутое окно в мир... С неослабевающим интересом смотрят зрители этот необычный фильм, дружно аплодируя каждому удачному кадру.

Птицы летают по залу, рыба доплывает до двадцатого ряда, и артистке Вере Дуловой бросают букеты цветов из первых рядов. Оказывается, вовсе нет необходимости сидеть напряжённо, и глаза почти не устают, и легко найти позицию стереовидения» (рис. 10).

Некоторые фрагменты были сняты по двухцветному способу и демонстрировались в цвете, вызывая до-



Рис. 10. Вера Дулова играет на арфе. Кадр из стереофильма «Концерт» (1941)



полнительный восторг кинозрителей и отклики в прессе:

«Аплодируют цветному фрагменту, чувствуя в нём прообраз кинематографа ближайшего будущего: звукового, цветного, объёмного. Стихи В. Маяковского, которые читает В. Яхонтов, классическая музыка в исполнении Я. Флиера и В. Дуловой, пение в саду Г. Немченко (рис. 11) и, главное, новизна стереоскопического видения в кино, и чувство рождения большого нового искусства – всё это создаёт приподнятое, праздничное настроение».



Рис. 11. Поёт Галина Немченко. Кадр из стереофильма «Концерт» (1941)



Демонстрация фильма продолжалась около 40 минут, поэтому в кинотеатре ежедневно проводилось более 10 сеансов. За четыре месяца экспериментального показа картину посмотрели более полумиллиона москвичей. С началом Великой Отечественной войны демонстрация стереофильма прекратилась.

К счастью, в Госфильмофонде России полностью в хорошем состоянии сохранились исходные негативы изображения и фонограмм всех частей этого стереофильма, что позволило произвести его полную реставрацию и подготовить для показа на кинофестивале «Белые столбы – 2011». 4 февраля 2011 года, в день 70-летия выхода фильма на экран, участники и гости кинофестиваля увидели восстановленный стереоскопический вариант этого фильма.

В ходе работ по реставрации фильма мной была проведена работа по просмотру и идентификации всего сохранившегося киноматериала, включая так называемый «подсобный материал», состоящий из 13 коробок. Именно в этих коробках с несчастливым числом «тринадцать» удалось обнаружить чёрно-белые цветоделённые негативы на киноплёнке Agfa, являющиеся исходными материалами для создания цветного стереоскопического варианта 2, 5, 6 и 7 фрагментов фильма. Уже удалось восстановить цветной вариант шестого фрагмента стереофильма «Концерт» и показать его на кинофестивале вместе с чёрно-белым вариантом фильма. Нет сомнения, что цифровые технологии позволят восстановить все цветные фрагменты этого фильма полностью (рис. 12, 13, 17).





Рис. 12. Птичий сад. Реконструкция цветной стереопары на 35-мм киноплёнке из шестого фрагмента стереофильма «Концерт» (1941)



Рис. 13. Вид на Ялту. Реконструкция цветной стереопары на 35-мм киноплёнке из шестого фрагмента стереофильма «Концерт» (1941)



Рис. 17. Птичий сад. Восстановленная стереопара из цветного варианта шестого фрагмента стереофильма «Концерт» (1941)

Съёмка в первой стереоскопической системе С.П. Иванова, производилась обычной однообъективной 35 мм кинокамерой на стандартной 35-мм плёнке с двухзеркальной насадкой (рис. 14). Оба кадра стереопары, каждый размером 11,25×18 мм, располагались рядом в пределах стандартного кадра немого кинематографа. Между

ними располагалась стандартная оптическая монофоническая фонограмма.

Съёмка стереофильма с двухзеркальной насадкой велась по следующей схеме.

Изображение объекта 1 (рис. 15) попадает на зеркала 2 и 3, проходит через объектив 4 киносъёмочного аппарата и образует на плёнке 5 стереопару из двух лежащих рядом изображений 6 и 7. Базис стереосъёмки определяется расстоянием между центрами «виртуальных» объективов 8 и 9 и может регулироваться путём изменения угла между зеркалами 2 и 3.



Рис. 14. Первый образец съёмочной двухзеркальной стереонасадки к камере «Debrrie L»

Кинопроекция стереоскопического фильма осуществлялась кинопроектором, перед объективом которого устанавливалась специальная зеркальная система (рис. 16), с помощью которой изображения стереопары проецировались объективом 1 на зеркало 2. Отражённые этим зеркалом лучи падали на зеркала 3 и 4, которые отдельно отражали световые пучки левого и правого изображений, совмещая их на экране. Звучающая система проектора была приспособлена для чтения фонограммы, расположенной симметрично между кадрами стереопары (рис. 11, 12, 13).

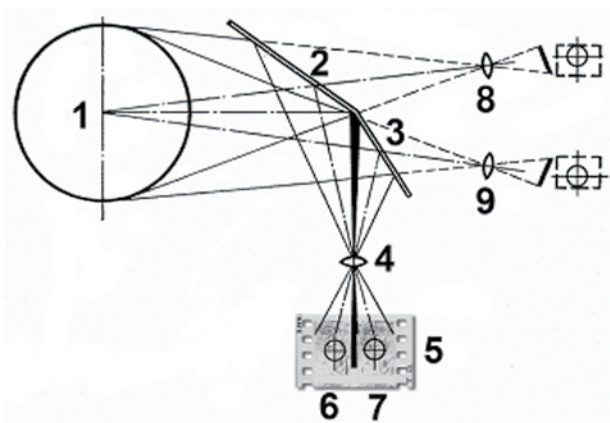


Рис. 15. Схема стереосъёмки с двухзеркальной насадкой по системе С.П. Иванова

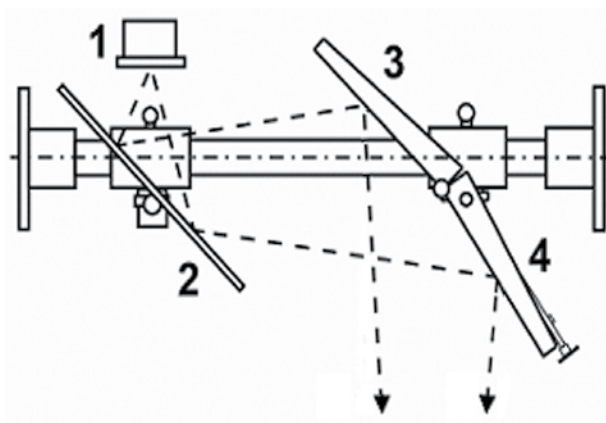


Рис. 16. Трёхзеркальная стереонасадка для кинопроектора в кинотеатре «Москва»

Начавшаяся 22 июня 1941 года Великая Отечественная война на время приостановила и демонстрацию первого стереофильма, и работы в области стереокино. Но уже в октябре 1942 года, находясь в эвакуации, С.П. Иванов совместно с А.Н. Андриевским изобрели способ изготовления светосильного оптического растра. Менее чем через год, 26 июля 1943 года, С.П. Иванов, Б.Т. Иванов и Е.Ф. Савченко изготовили первый образец экрана с таким растром размером 110×70 см (рис. 18). Светосильный растр, в отличие от светопоглощающего растра, являлся значительно более совершенной оптической системой, исключающей потери яркости изображения на экране при поглощении части светового потока кинопроектора чёрными полосами светопоглощающего растра.

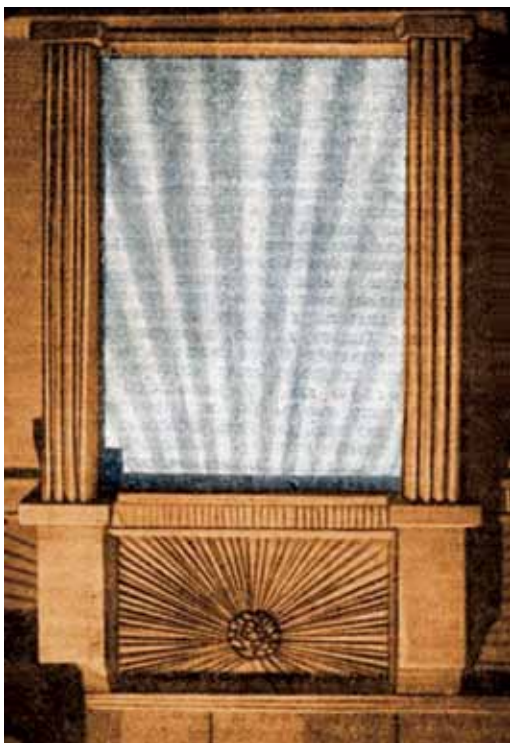


Рис. 18. Первый светосильный линзо-растровый экран

Начиная с 1944 года возобновились работы по совершенствованию систем съёмки и проекции стереофильмов. В начале 1946 года Б.Т. Иванов разработал технологию изготовления линзовых растров размером до 10 м<sup>2</sup>. Даже сегодня, в XXI веке, изготовление растров таких размеров представляет большие трудности, ведь необходимо разместить на плоскости более 2000 микролинз с конической поверхностью. В конце 1946 года первый образец линзо-растрового стереоэкрана шириной 3,1 м и высотой 3,2 м был установлен в новом московском кино театре «Стереокино».

С 1948 года было освоено изготовление стереоэкранов размером 1,2×1,25 м с линзовыми перспективными растрами. В СССР было изготовлено несколько десятков таких экранов, применявшихся для самых различных целей в науке. Именно на таких пяти экранах в советском павиль-

оне на Всемирной выставке ЭКСПО-70 в Осака (Япония) демонстрировались интегральные стереодиафильмы.

Одновременно с работами по созданию стереоэкранов с линзовым растром проводились работы по увеличению площади и изменению пропорций кадров стереопары на киноплёнке. Одним из главных недостатков первой системы стереоскопического кинематографа С.П. Иванова было то, что изображение стереокадров имело небольшие размеры на плёнке, и высота изображения была значительно больше его ширины. Если в классическом формате кадра отношение ширины к высоте кадра составляло 1,37:1, то в первой системе советского безочкового стереокино отношение ширины кадра к его высоте равнялось 0,68:1. Площадь каждого кадра стереопары равнялась 202,5 мм<sup>2</sup>, то есть больше половины стандартного кадра звукового кинематографа, площадь которого составляет 352 мм<sup>2</sup>. Уменьшение площади кадра не могло не сказываться на качестве изображения. И хотя первые советские стереофильмы и экспериментальные стереоролики снимались на высококачественных зарубежных негативных киноплёнках «Agfa» или «Kodak», а позитивные копии печатались непосредственно с оригинального негатива на импортной позитивной киноплёнке, вопрос об увеличении площади кадра и приведении его к соотношению сторон, близкому к классическому формату кадра, начал разрабатываться уже с 1944 года.

По поручению С.П. Иванова оператор Д.В. Суренский и инженер Б.Т. Иванов провели ряд экспериментов по увеличению площади стереоскопического кадра за счёт уничтожения трёх промежуточных перфораций (рис. 19).



Рис. 19. Кадр по системе «Сtereo-35/19» из стереофильма «Машина 22-12» (1948)

Б.Т. Иванов определил сразу несколько преимуществ в удалении трёх перфораций: «...если же вместо четырёх перфораций, которые приходятся на каждую сторону кадра и сразу все никогда не используются (даже если грейферный механизм имеет по четыре зуба с каждой стороны), оставить только одну перфорацию с каждой стороны, то работа механизма от этого несколько не ухудшится, а может быть, даже улучшится. Надо учесть, что каждый раз грейфер будет тянуть за одну и ту же перфорацию, а также (пожалуй, самое главное), что при организации только по одной паре перфораций на каждый кадр, мы тем са-



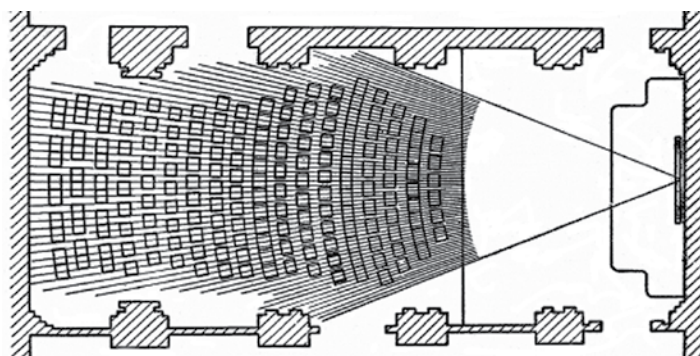


Рис. 21. План зрительного зала московского кинотеатра «Стереokino» (1947)

мым делаем общей базу ориентировки кадра для всех аппаратов (киносъёмочного, копировального, проекционного и др.), участвующих в транспортировке плёнки, начиная от момента съёмки до проекции. Наконец, при таком количестве перфораций отпадает необходимость предусматривать в проекционных аппаратах специальные приспособления для кадрировки. Кадр всегда будет ориентирован на одну и ту же перфорацию».

В результате удаления трёх промежуточных перфораций освобождается добавочная площадь кадра по всей ширине 35-мм киноплёнки. Таким образом, при стандартной ширине фонограммы, расположенной посре-

дине плёнки, справа и слева от неё можно разместить кадры стереопары размером 15×16 мм каждый. Площадь каждого из них составит 240 мм<sup>2</sup>, то есть на 20% больше площади кадра в первой стереосистеме С.П. Иванова. Кадр становится квадратным, что позволяет при помощи каширования кадра получить кадр с классическим соотношением сторон.

**Вторая система стереokino С.П. Иванова**, получившая название «Сtereo-35/19», была реализована в новом кинотеатре для демонстрации стереоскопических фильмов по безочковому методу на линзо-растровый экран, который открылся в Москве в конце 1946 года в здании бывшего кинотеатра «Восток-кино» (площадь Свердлова, д. 3/6) (рис. 20, 21, 22).



Рис. 20. Московский кинотеатр «Стереokino». Осень 1959 года. (фото из собрания РГАКФД)



Рис. 22. В зрительном зале московского кинотеатра «Стереokino» (1947)

#### Характеристики стереопроекции и параметры зала кинотеатра «Стереokino»

Размеры зала: ширина – 7 м; длина – 21 м; высота – 7 м.  
Количество мест – 176 (18 рядов).  
Расстояние от экрана до первого ряда – 8,3 м.  
Экран – линзо-растровый.  
Размеры экрана:  
1946 год: ширина – 3,1 м, высота – 3,2 м.  
1952 год: ширина – 4 м, высота – 3 м.  
Кинопроекторы:  
1947 год – КПТ-1; 1952 год – КПТ-С2.

Ширина плёнки – 35 мм.  
Размер каждого кадра стереопары:  
1947 год – 15×16 мм  
1948 год – 15×16 мм, 10,4×10,4 мм  
1952 год – 22×16 мм  
Фонограмма – оптическая, моно.  
Система стереokino:  
1947 год – «Сtereo-35/19»  
1948 год – «Сtereo-35, 10×10»  
1952 год – «Сtereo-35, кадр над кадром»



Рис. 23. Павел Кадочников в роли Робинзона Крузо.  
Кадр из стереофильма «Робинзон Крузо» (1947)

29 февраля 1947 года в новом московском кинотеатре «Стереokino» началась регулярная демонстрация первого советского игрового полнометражного стереоскопического чёрно-белого фильма «Робинзон Крузо» (рис. 23), снятого по системе «Сtereo-35/19» С.П. Иванова.

Подготовительная работа к съёмкам полнометражного стереоскопического фильма «Робинзон Крузо» началась ещё в 1944 году, когда специальным решением советского правительства о всемерном развитии стереоскопического кино была создана киностудия «Сtereookino». На студии по первой системе С.П. Иванова были сняты два короткометражных фильма: «По следам врага» и «Парад молодости». Съёмки же полнометражной картины было решено проводить по системе «Сtereo-35/19». Для этого на Шосткинском химзаводе (ШХЗ № 3), более известном как «Свема», начался выпуск 35-мм чёрно-белых негативной и позитивной киноплёнок с нестандартной перфорацией.

Подчеркну: плёнка была чёрно-белая! Выпуск цветной многослойной киноплёнки по трофейной технологии «Agfacolor» для цветного негативно-позитивного процесса начался на ШХЗ № 3 только в 1947 году. Понятно, что заказать в 1944 году выпуск цветной негативной плёнки с нестандартной перфорацией фирме «Agfa», находившейся на территории противника, было невозможно. А наши американские союзники выпуск цветной киноплёнки для негативно-позитивного процесса на фирме «Eastman Kodak Company» начали только в 1950 году. Так что, как это ни печально, все публикации в иностранных и отечественных изданиях и на сайтах в Интернете, сообщавшие о том, что «Робинзон Крузо» – первый в мире цветной полнометражный игровой стереоскопический фильм, всего лишь миф. В Госфильмофонде России хранится негатив-оригинал стереоскопического фильма «Робинзон Крузо» на чёрно-белой горючей киноплёнке.

Надо сказать, что съёмкам нового стереофильма советская пресса уделяла как никогда много внимания. В аннотированном каталоге «Советские художественные фильмы» в библиографии к фильму «Робинзон Крузо» указаны только несколько публикаций: «Комсомольская правда», 27.III, 6.VII и 30.X 1945; «Вечерняя Москва», 28.V. 1945; «Заря Востока», Тбилиси, 12.1. 1945; «Совет-



Рис. 24. Ольга Викландт в роли диспетчера Телегиной.  
Кадр из стереофильма «Машина 22-12» (1948)

ская Молдавия», Кишинёв, 22.IV.1947. Понятно, что это публикации только в центральных газетах. Но были и публикации в журналах, например, в «Огоньке» и местной прессе. Вполне возможно, что в одном из материалов было ошибочно указано на то, что фильм снимается в цвете.

В 1948 году в кинотеатре «Сtereookino» началась демонстрация первой отечественной стереоскопической кинокомедии «Машина 22-12» с блистательным актёрским составом. Николай Крючков, Михаил Жаров, Вера Орлова и Ольга Викландт сумели превратить обычный производственный сюжет о передовике социалистического соревнования в весёлый фильм (рис. 24).

Выше уже было отмечено, что квадратный кадр системы «Сtereo-35/19» позволяет, при его кашировании, получить кадр с классическим соотношением сторон 1,37:1. Кинооператор Михаил Михайлович Щеглов 2 августа 1949 года в лаборатории операторской техники «Мосфильма» предложил техническое усовершенствование «Методика перекомпоновки с квадратного кадра на прямоугольный при переводе стереофильмов на плоскостной вариант», которое было зарегистрировано как рационализаторское предложение и принято к использованию на киностудии. Предложенный М.М. Щегловым метод был опробован при переводе в плоскостной вариант кинокомедии «Машина 22-12» (рис. 25, 26), которая под названием «Счастливый рейс» 15 июля 1949 года была выпущена во всесоюзный кинопрокат. Этот вариант достаточно часто показывают по телевидению, выпускают на VHS и DVD.

В конце 40-х годов прошлого века появление трофейной цветной многослойной киноплёнки «Agfacolor B» по-



Рис. 25. Вера Орлова в роли Фени. Стереопара из фильма «Машина 22-12» (1948)



Рис. 26. Кадр из фильма «Счастливый рейс» (1949)



зволило советским кинематографистам начать производство цветных документальных и игровых фильмов по негативно-позитивному процессу. Естественно, что возникло желание снять и цветные стереоскопические фильмы. Но использовать для съёмки по системе «Сtereo-35/19» имевшийся в то время комплект цветных киноплёнок, оборудование для проявки и печать со стандартным числом перфораций было невозможно. Да и сама система в процессе эксплуатации показала высокий износ фильмокопий с нестандартным шагом перфорации.

Несмотря на все указанные выше недостатки, система «Сtereo-35/19» по совершенно загадочной причине вновь временно вернулась в строй действующих через двадцать лет, но уже в цвете. В начале 60-х годов, когда в НИКФИ полным ходом шла разработка новой системы «Сtereo-70» (см. ниже), рассчитанной на применение 70-мм киноплёнки, Шосткинский химический завод выпускает партию 35-мм цветной негативной и позитивной киноплёнки, специально отперфорированной для съёмки по системе «Сtereo-35/19». В новом московском кинотеатре «Октябрь» в аппаратной стереокинозала вместе с новым 70-мм проекционным оборудованием устанавливается проекционная аппаратура для демонстрации на линзо-растровый экран по системе «Сtereo-35/19». Достоверно известно, что с 11 по 15 февраля 1965 года в московском Дворце спорта Центрального стадиона им. В.И. Ленина в Лужниках во время соревнований по фигурному катанию на коньках на первенство Европы с участием ведущих фигуристов из 14 стран велись экспериментальные съёмки цветного стереоскопического фильма по системе «Сtereo-35/19». Документальное подтверждение тому перед вами. Эти цветные срезки в формате системы «Сtereo-35/19» сохранились в коллекции С.Н. Рожкова – заведующего лабораторией стереоскопического кинематографа НИКФИ (рис. 27).

Самое интересное, что открытие 29 апреля 1968 года стереопоказа в Малом зале московского кинотеатра «Октябрь» ознаменовано не премьерой стереофильма по новой системе «Сtereo-70», а премьерой цветного стереофильма «Человек в зелёной перчатке», поставленного на киностудии имени М. Горького режиссёром Н. Экком по системе «Сtereo-35/19». Конечно, фильм



Рис. 27. Стереопары экспериментальной цветной стереосъёмки по системе «Сtereo-35/19» (1965)

Н. Экка на порядок выше заурядной кинокомедии «Нет и да», премьера которой состоялась на следующий день – 30 апреля 1968 года. Понятно, что фильм о героических борцах с фашистами был более подходящим по идеологическим соображениям для придания значимости моменту введения в строй нового кинозала в главном кинотеатре столицы с революционным именем на фронто-не. Но вот почему он снимался по старой, не оправдавшей себя системе, остаётся загадкой. Также остаётся загадкой, почему и кто разрешил в стране с плановой экономикой и жёсткими лимитами выпустить партию нестандартной киноплёнки и провести не только экспериментальные съёмки, но и снять целый полнометражный игровой фильм. Фильм действительно неплохой, но сегодня увидеть его в стереоскопическом варианте из-за отсутствия специальной проекционной аппаратуры уже невозможно. К счастью, фильм был переведён в плоскостной цветной вариант по описанному выше способу.

Таким образом, в 60-е годы было реализовано то, что по техническим причинам не удалось сделать в 40-е. А очень хотелось снимать цветные стереоскопические фильмы.

**Система «Сtereo-35, 10×10»** новая отечественная система, принятая в эксплуатацию в 1948 году. Размеры каждого её кадра составляли 10,4×10,4 мм. Стереопара в этой системе размещалась в пределах ширины стандартного кинокадра, принятого в звуковом кинематографе (рис. 28). Понятно, что с уменьшением размера кадра произошло некоторое ухудшение качества изображения. Однако применение киноплёнки со стандартным размером и количеством перфораций позволило использовать обычное оборудование для проявки, печати и монтажа фильмов. А для съёмки использовать высококачественные сорта импортной киноплёнки и, в первую очередь, цветной «Agfacolor B», производство которой было восстановлено на фабрике «Agfa» в Германии и осваивалось на Шосткинском химическом заводе.

25 декабря 1948 года в московском кинотеатре «Сtereo-кино» началась демонстрация первого советского стереоскопического научно-популярного фильма «Кристаллы», снятого по системе «Сtereo-35, 10×10». Первая и четвертая части фильма были сняты на чёрно-белой негативной плёнке «Kodak», вторая и третья части снимались в цвете на трофейной «Agfacolor B». В стереофильме «Кристаллы» впервые в мире использовалась стереоскопическая графическая анимация, созданная Дмитрием Бабиченко и Ольгой Хлудовой.



Рис. 28. Горизонтальная стереопара из стереофильма «Карандаш на льду» (1948), система «Сtereo-35, 10×10»

В одной программе продолжительностью 80 минут вместе с цветным фильмом «Кристаллы» демонстрировались чёрно-белые короткометражные фильмы: кинокомедия «Карандаш на льду» и научно-популярный видовой фильм «Солнечный край», снятые по новой системе.

Стереофильмы, снятые по системе «Сtereo-35/19» С.П. Иванова, путём оптической печати с уменьшением были переведены в формат новой системы. Правда, размер кадра при таком переводе стал ещё меньше, так как стереопара копировалась целиком вместе с расположенной между кадрами фонограммой, которая просто закрывалась маской. Стереофильм «Робинзон Крузо» был переведён из формата «Сtereo-35/19» в формат «Сtereo-35, 10×10». С чёрно-белого контратипа этого формата в 2009 году под руководством начальника участка цифровой обработки фильмовых материалов Госфильмофонда России Владимира Николаевича Котовского на сканере diTTO было произведено сканирование первой части фильма с разрешением 3К, так как лентопротяжный механизм ни одного из существующих на сегодняшний день сканеров не позволяет сканировать киноплёнку с шагом перфораций, принятым в системе «Сtereo-35/19». Сканированный материал был переведён в цифровой формат по технологии, разработанной в НИКФИ Александром Сергеевичем Мелкумовым, и показан в стереоскопическом варианте с поляризационными очками 24 декабря 2009 года на праздновании 80-летнего юбилея НИКФИ (рис. 29).

Для получения стереопары на одной плёнке перед кинокамерой устанавливалась стереоскопическая насадка, для получения стереопары на двух плёнках создавался комплекс из двух камер.

При двухплёночном способе съёмки удавалось получить стандартный по площади и пропорциям размер кинокадра, а качество изображения – соответствующее качеству применяемой киноплёнки. В то же время возникал ряд проблем, связанных с синхронизацией съёмочной и проекционной киноаппаратуры и получением однородных по плотности, контрасту и резкости сопряжённых изображений на паре негативов и паре позитивов. При съёмке на одну плёнку с использованием стереонасадки (двухзеркальной или призмной), помимо потерь света в оптической системе, уменьшения площади кадра и изменения его пропорций, возникали геометрические искажения изображения в каждом из кадров стереопары, особенно это проявлялось при съёмке с двухзеркальной насадкой.

В двухплёночных системах, помимо указанных выше недостатков, со временем также возникает проблема искажения и изменения геометрии изображения в кадрах стереопары из-за неравномерной усадки каждой из киноплёнок. В цветных стереофильмах на двух киноплёнках имело место и выцветание, которое также происходило неравномерно.

Становится совершенно очевидно, что для съёмки стереоскопического фильма на киноплёнке всё же предпочтительней одноплёночная система.



Рис. 29. Кадр из стереофильма «Робинзон Крузо» (1947). Слева – в формате «Сtereo-35/19», справа – в формате системы 1948 года

К началу 40-х годов прошлого века в СССР было практически реализовано семь различных систем стереоскопического кинематографа, начиная с системы Н.Д. Анощенко в 30-е годы. Все они отличались друг от друга по способу съёмки или по способу проекции. Но у них было одно общее: все эти системы для съёмки стереофильма использовали имеющиеся обычные 35-мм кинокамеры.

**Система «Сtereo-35, кадр над кадром»**, призванная устранить многие недостатки первых систем отечественного стереокино, была разработана в конце 40-х годов XX века под руководством Наума Давидовича Бернштейна и Андрея Григорьевича Болтянского в НИКФИ. Съёмка стереофильма по этой системе производится одним киноаппаратом на одну плёнку с нормальным форматом





Рис. 30. Кинокамера ПСК-С для съёмки стереофильмов по системе «Сtereo-35, кадр над кадром»

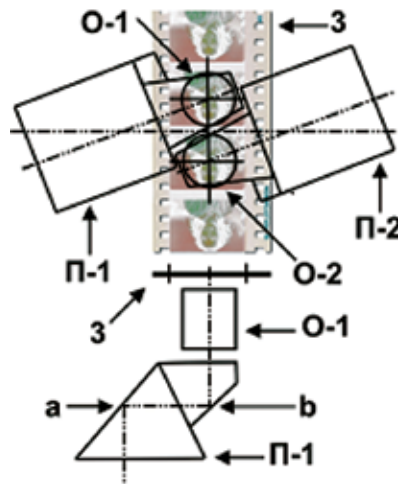


Рис. 31. Оптическая система кинокамеры ПСК-С

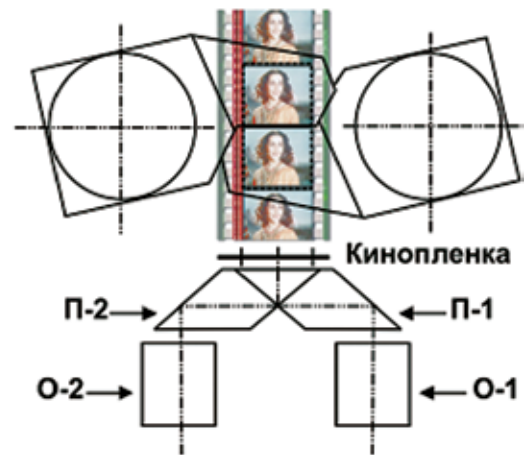


Рис. 32. Оптическая система кинопроектора

каждого кадра стереопары размером  $22 \times 16$  мм (1,37:1), расположенных друг над другом.

Для съёмки стереофильмов по этой системе была модифицирована 35-мм кинокамера ПСК-21. Грейферный механизм камеры был изменён таким образом, чтобы протягивать 35-мм киноплёнку на шаг кадра 38 мм, а не на 19 мм, как в обычном кинематографе. Специальная оптическая система имела два объектива. Для удобства оператора была изготовлена особая стереолупа, позволявшая наблюдать за объектами в процессе съёмки в стереоизображении и контролировать пространственную композицию кадра. (рис. 30)

На рис. 31 показана оптическая система кинокамеры ПСК-С, состоящая из объективов O-1 и O-2 и призм П-1 и П-2, формирующих на негативной киноплёнке 3 два кадра стереопары. Схема работы одного из двух таких оптических блоков показана в нижней части рисунка: лучи от снимаемого объекта попадают на призму П-1, отражаются от её поверхностей а и b и проходят через объектив O-1 на киноплёнку 3, формируя изображение левого ракурса стереопары. По такому же принципу объектив O-2 и призма П-2 формируют изображение правого ракурса. Изменение базиса стереосъёмки осуществлялось с помощью набора базисных насадок (38, 48, 65, 95, 130 мм). Для съёмки применялись объективы с фокусными расстояниями 35, 50 и 80 мм (при съёмке с двухзеркальной насадкой применялся только один объектив с фокусным расстоянием 50 мм).

Проекция стереоскопических кинофильмов по системе «Сtereo-35, кадр над кадром» производится обычными кинопроекторами, переоборудованными для протягивания 35-мм киноплёнки на шаг в 38-мм. Оптический блок кинопроекторов состоит из двух рядом расположенных проекционных объективов O-1, O-2 и призм П-1, П-2, которые, в отличие от съёмочной оптики, находятся позади, а не впереди объективов (рис. 32).

Таким образом, новая система отечественного стерео-

кино позволила получить на экране привычные для зрителя пропорции классического кинокадра, улучшила качество изображения за счёт использования полной площади кинокадра. А поскольку для съёмки и проекции использовалась стандартная 35-мм киноплёнка, то проявка и копирование были такими же, как в обычной системе кинематографа. Новая система дала возможность получать плоский вариант стереофильма путём выкопировки правого или левого кадра стереопары без изменения композиции, размеров и формата кадра.

Вместе с разработкой системы «Сtereo-35, кадр над кадром» в лаборатории стереокино НИКФИ велись работы по улучшению технологии производства линзовых растров и повышению их коэффициента сепарации (разделения изображений для правого и левого глаза).

Зрители первых отечественных стереофильмов, демонстрировавшихся по безочковой системе на растровом экране, испытывали огромные трудности из-за необходимости найти правильную позицию для просмотра. А некоторым это так и не удавалось сделать за весь сеанс. Этот недостаток был озвучен блистательной Марией Мироновой в цветной стереоскопической кинокомедии Александра Роу «Драгоценный подарок» (1954): «А вы, Настенька, в стереокино сходите. Может, увидите что. Многие видят!» Новый экран с коэффициентом сепарации 92 процента и размером  $4 \times 3$  метра (старый экран 1947 года размером  $3,1 \times 3,2$  м имел коэффициент сепарации около 67 процентов) был изготовлен в 1951 году и в январе 1952 года был установлен в московском кинотеатре «Сtereoкино». Высокий коэффициент сепарации облегчил зрителям выбор правильной позиции для восприятия стереоскопического фильма, уменьшил нагрузку на глаза, то есть новый экран значительно улучшил качество и комфортность стереопоказа.

Экспериментальный стереоскопический цветной видовой фильм «В аллеях парка», снятый по системе «Сtereo-35, кадр над кадром», начал демонстрироваться на



Рис. 33. Кадр из стереофильма «Майская ночь» (1952) 

новом экране в московском кинотеатре «Стерекино» 19 января 1952 года.

31 октября 1952 года по этой системе началась демонстрация первого цветного игрового полнометражного стереоскопического фильма – «Майская ночь, или Утопленница» (рис. 33).

В январе 1954 года по системе «Сtereo-35, кадр над кадром» начал демонстрироваться первый в мире цветной стереоскопический фильм-опера «Алеко». Несмотря на то, что плоскостной вариант фильма вышел на всесоюзный экран только 3 августа 1954 года, уже в январе центральная пресса дала высокую оценку фильму. 30 января одновременно в «Советской культуре» и «Литературной газете» были опубликованы большие рецензии на экранизацию «Алеко» (рис. 34). Критик Михаил Белявский в газете «Советская культура» заметил, что «новый стереофильм «Алеко» в ещё большей мере, чем «Майская ночь», отмечен стремлением превратить стереозффект из аттракциона в действующее на протяжении всего фильма средство раскрытия идейно-художественного замысла произведения». Фильм действительно стал этапным не только в истории отечественного стереокино, но и как высококачественная экранизация оперной классики.



Рис. 34. Кадр из стереофильма «Алеко» (1953) 

Стереоскопическая экранизация рассказов А.П. Чехова «Налим», «Рыбье дело», «Из записок вспыльчивого человека», объединённая общим названием «Налим», выходит на экран 14 марта 1954 года.

В 1955 году в Ленинграде и Астрахани открылись кинотеатры для демонстрации стереофильмов на линзо-растровый экран размером 4×3 м по системе «Сtereo-35, кадр над кадром». Всего таки-

ми экранами в СССР было оборудовано шесть стереокинотеатров: в Москве, Ленинграде, Киеве, Тбилиси, Астрахани и Одессе.

Строительству и открытию кинотеатра «Стерекино» на Петроградской стороне в Ленинграде в 1955 году был посвящён большой киносюжет во втором выпуске «Ленинградского киножурнала» (РГАКФД. Уч. № 14237).

В Российском государственном архиве кинофотодокументов под учётным номером 30196 сохранился «Репортаж по Москве». Он посвящён сносу домов в центре города и запечатлел последние мгновения московского кинотеатра «Стерекино». Закрытый в 1964 году на ремонт, кинотеатр так и не открылся. А в 1969 году здание бывшей гостиницы «Континенталь», где он размещался, было снесено. Позже на его месте был построен новый корпус гостиницы «Москва».

Московский кинотеатр «Стерекино» целых 17 лет с утра и до позднего вечера исправно демонстрировал отечественные стереофильмы при полном аншлаге. Он по праву занимает первое место в истории мирового кинематографа как первый в мире много лет постоянно действовавший кинотеатр стереоскопического фильма.

На последнем киносеансе в московском кинотеатре «Стерекино» демонстрировалась кинокомедия «Необыкновенный город», которая стала последним стереоскопическим фильмом, снятым по системе «Сtereo-35, кадр над кадром». В стереоскопических кинотеатрах других городов Советского Союза фильмы, снятые по этой системе, продолжали демонстрироваться до середины 60-х годов прошлого века.

Советская система широкоэкранного стереоки-



**Стереofilмы, демонстрировавшиеся в московском кинотеатре «Стерекино»**

(В скобках указана дата выпуска на экран)

**По системе «Сtereo-35/19»:**

«Робинзон Крузо» (29.02.1947), «Машина 22-12» (1948).

**По системе «Сtereo-35, 10×10»:**

«Солнечный край», «Кристаллы», «Карандаш на льду» (25.12.1948), «Артек» (1949), «Среди зверей» (1949), «Под голубым куполом» (1949), «День чудесных впечатлений» (1949), «В степи» (23.03.1951).

**По системе «Сtereo-35, кадр над кадром»:**

«В аллеях парка» (19.01.1952), «Майская ночь, или Утопленница» (31.10.1952), «Мастера спорта» (1953), «Налим» (14.03.1954), «Алеко» (03.08.1954), «Самоуверенный Карандаш» (1955), «Белый пудель» (04.10.1956), «Драгоценный подарок» (07.1956), «Дружок» (17.07.1958), «Косолапый друг» (20.05.1959), «Разноцветные камешки» (20.12.1960), «Необыкновенный город» (03.04.1963).

но была разработана в НИКФИ в 1959 году. Для съёмки и проекции широкоэкранных стереofilмов лаборатория стерекино НИКФИ предложила использовать двухплёночную систему. Кадры стереопары снимались установкой из двух отечественных кинокамер «КОНВАС» с анаморфотными насадками перед объективами (рис. 35). На каждой из двух 35-мм плёнок размещались изо-

навливались соответствующие поляризационные фильтры. Демонстрация фильма двумя отдельными кинопроекторами позволяла получать изображение нормальной яркости на достаточно большом экране (рис. 37).

Полное соответствие параметров этой системы с отечественной системой широкоэкрannого кино позволяло с одной из плёнок негатива (с левым или правым изо-

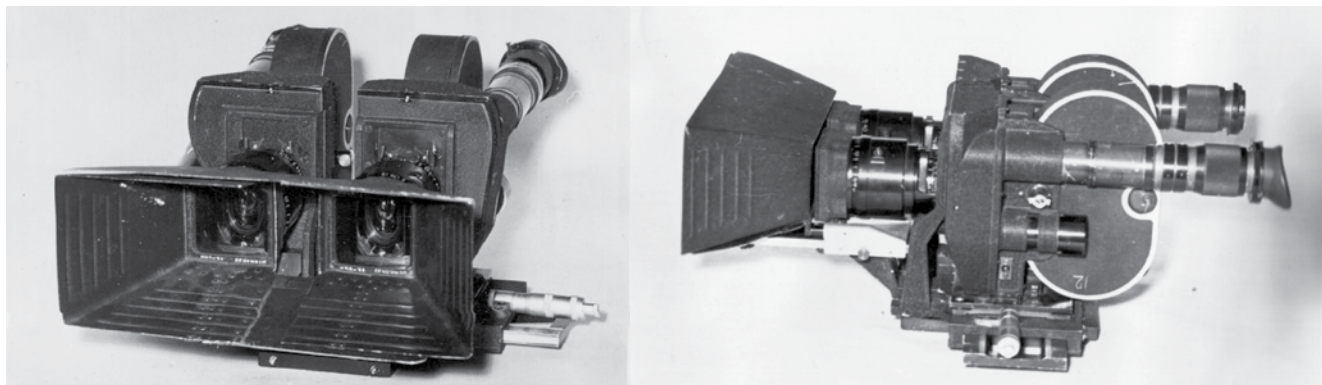


Рис. 35. Установка из двух кинокамер «КОНВАС» для съёмки широкоэкранных стереofilмов

бражения одного (левого или правого) ракурса. Размеры кадра составляли 22×18,6 мм с коэффициентом анаморфирования 0,5, как и в советской системе широкоэкрannого кинематографа (рис. 36). Проекция фильма велась на широкий металлизированный экран двумя синхронно работающими стандартными кинопроекторами с анаморфотными насадками, перед которыми уста-

бражением стереопары) напечатать плоскостной вариант фильма с одноканальной оптической фонограммой.

Летом 1960 года лабораторией стерекино НИКФИ был снят экспериментальный широкоэкранный стереоскопический видовой фильм.

Через два года на киностудии «Мосфильм» по этой системе начались съёмки первого советского широкоэк-



Рис. 36. Стереопара на двух 35-мм киноплёнках из экспериментального широкоэкрannого стереofilма (1960)

Рис. 37. Кадр из экспериментального широкоэкрannого стереofilма (1960) 



Рис. 38. Кадр с логотипом киностудии «Мосфильм» из стереофильма «Вечер в Москве» (1963)

ранного стереоскопического фильма (рис. 38). Советский фильм был снят в жанре киноконцерта и, в отличие от первого американского широкоэкранного стереофильма «September Storm» («Сентябрьский шторм») 1960 года, был короткометражным (всего 4 части) и с четырёхканальным стереофоническим звуком.

Первый и единственный советский цветной широкоэкранный стереоскопический фильм со стереофоническим звуком «Вечер в Москве» (рис. 39) демонстрировался с 2 ноября 1963 года по 30 августа 1964 года в московском кинотеатре «Рекорд».

#### Кинотеатр «Рекорд»

Летом 1957 года в здании Большой спортивной арены Центрального стадиона имени В.И. Ленина в Лужниках, построенного к VI Всемирному фестивалю молодёжи и студентов в Москве, открылся двухзальный кинотеатр «Рекорд». Кинотеатр был оснащён самым современным проекционным оборудованием для демонстрации широкоэкранных фильмов с четырёхканальной магнитной стереофонической фонограммой.

В 1963 году один из залов кинотеатра был переоборудован для демонстрации широкоэкранных стереоскопических фильмов.

Для широкоэкранный стереопроекции был переоборудован только один кинозал. В начале 60-х годов прошлого века на всю Москву было не больше десятка кинотеатров для демонстрации широкоэкранных фильмов. Не много их было и в Ленинграде. В столицах Союзных республик широкоэкранные кинотеатры были единичны, что тут говорить о других городах СССР. Для советского кинозрителя начала 60-х годов прошлого века и просто широкоэкранный кино был в диковинку. Так что широкоэкранный стереокино в нашей стране не получило дальнейшего развития, как, впрочем, и на Западе, где полным ходом развивался широкоформатный кинематограф на 70-мм плёнке.

23 февраля 1961 года премьерой фильма «Повесть пламенных лет» началось внедрение широкоформатного кинематографа в нашей стране. В конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века в Советском Союзе была разработана вся необходимая аппаратура для съёмки, обработки и демонстрации широкоформатных фильмов на 70 мм плёнке, выпуск которой был освоен на Шосткинском химическом заводе.



Рис. 39. Левый и правый кадры стереопары и их дезанаморфированные изображения из фильма-концерта «Вечер в Москве» (1963)

#### СТЕРЕО-70

В 1963 году сотрудники НИКФИ Андрей Григорьевич Болтянский и Нина Алексеевна Овсянникова предложили систему съёмки и демонстрации стереоскопических фильмов на 70-мм киноплёнке, получившую название «Стерео-70». Работы по созданию съёмочного и проекционного оборудования были завершены в 1965 году. Стереокамеры создавались на основе уже разработанных отечественных аппаратов для широкоформатной съёмки, но оснащались специально разработанными стереообъективами и стереолупой, благодаря которой оператор контролировал пространство снимаемой сцены и корректировал параметры стереосъёмки (рис. 40). Оптические блоки стереообъектива можно было смещать друг относительно друга по горизонтали, что позволяло регулировать пространственные характеристики стереоизображения. Фокусные расстояния стереообъективов от 28 до 300 мм и призмённые насадки, изменяющие базис стереосъёмки от 15 до 110 мм позволяли оператору решать самые разнообразные изобразительные задачи.

Кадры стереопары «Стерео-70» с соотношением сторон 1,37:1, как в обычном кинематографе, имеют размер 25×18,2 мм, что несколько выше размеров изображения в обычном 35-мм фильме (рис. 41). Расстояние между ними составляет 1,4 мм, а межкадровая полоса равна 5,55 мм из-за меньшей высоты кадра стереопары по сравнению с высотой широкоформатного кадра.





Рис. 40. 70 мм кинокамера с двухобъективным оптическим блоком по системе «Сtereo-70»

Стереofilмы по системе «Сtereo-70» демонстрируются стандартными широкоформатными кинопроекторами с различными специальными проекционными стереообъективами: для безочковой стереопроекции на растровый экран и для поляризационного способа проекции на металлизированный экран.

больше усиливающей восприятие объёмного изображения (рис. 42, А).

Создатели системы предусмотрели возможность получения плоскостного варианта стереофильма в обычном формате путём оптической печати одного из кадров стереопары.

Для демонстрации стереоскопического варианта в кинотеатрах, не оборудованных широкоформатной проекционной аппаратурой, была разработана система перевода стереофильмов с 70-мм на 35-мм плёнку путём оптической печати с анаморфированием изображения по горизонтали с размещением стереопары в пределах одного стандартного кадра высотой в четыре перфорации (рис. 42, Б).

Премьера первого стереоскопического фильма «Нет и да», снятого на киностудии «Мосфильм» по системе «Сtereo-70», прошла 30 апреля 1968 года в Малом зале московского кинотеатра «Октябрь».

Демонстрация стереоскопических фильмов в Малом зале кинотеатра «Октябрь» началась в апреле 1968 года.



Рис. 41. Стереопара на 70-мм киноплёнке по советской системе «Сtereo-70»: А - негатив; Б - позитив с магнитной фонограммой





Рис. 42. Стереопара из стереоскопического игрового фильма «Шутки в сторону» (1984): А - 70-мм копия по системе «Сtereo-70»; Б - 35-мм копия с анаморфированной горизонтальной стереопарой

Использование в системе «Сtereo-70» практически всей технологической цепочки, принятой в советской широкоформатной системе, дало возможность без дополнительных усилий выпускать 70-мм стереофильмокопии с шестиканальной магнитной фонограммой, обеспечивающей пространственное звучание и ещё

29 апреля состоялась премьера стереофильма «Человек в зелёной перчатке», поставленного на киностудии имени М. Горького режиссёром Николаем Владимировичем Экком, а 30 апреля режиссёр Аркадий Николаевич Кольцатый представил кинозрителям стереофильм «Нет и да», поставленный им на киностудии «Мосфильм» (рис. 43).

Оба фильма являлись своего рода экспериментом в области освоения стереоскопического кинематографа. Первый фильм снят по системе «Сtereo-35/19», разработанной ещё в середине 40-х годов и рассчитан на демонстрацию по безочковому методу на линзо-растровый экран. Второй – освоение новой системы стереоскопиче-



Рис. 43. Кадр на 70 мм киноплёнке по советской системе «Стерео-70» из стереоскопического игрового фильма «Нет и да» (1968)  



ского кинематографа «Стерео-70» на 70-мм киноплёнке с демонстрацией по поляроидному методу с шестиканальным стереофоническим звуком.

Малый зал кинотеатра был поистине универсальным и уникальным, оборудованным самой современной кинопроекционной и звуковоспроизводящей аппаратурой для демонстрации широкоформатных, широкоэкранных, обычных и стереоскопических фильмов, снятых на 70-мм и 35-мм плёнке.

Для демонстрации стереофильмов по системе «Стерео-70» универсальные кинопроекторы КП-30 были дополнительно оснащены проекционными стереообъективами ПС-1 с поляризующими светофильтрами. А для показа стереофильмов по системе «Стерео-35/19» в аппаратной кинотеатра были также установлены кинопроекторы КПТ-3С с проекционным стереообъективом ПС-2.

#### КИНОТЕАТР «ОКТЯБРЬ»

Москва, проспект Калинина, 42. Двухзальный кинотеатр построен по проекту архитекторов М.В. Посохина, А.А. Мндоянца, Ю.В. Попова и других в 1967 году к 50-летию Октябрьской революции. Здесь проходили премьеры отечественных кинокартин, фестивали и ретроспективы. В 1998 году кинотеатр был закрыт на реконструкцию. 8 сентября 2005 года после реконструкции премьерой фильма «Мужской сезон: бархатная революция» открылся «обновлённый» кинотеатр, превращённый в современный мультиплекс. Вместо прежних двух залов в нём открылись сразу 9, рассчитанные на 3100 мест.

#### Характеристики стереопроекции и параметры Малого зала кинотеатра «Октябрь» (1967)

Количество мест – 442.

Алюминированный экран:

Широкий формат: ширина – 11,5 м, высота – 5,7 м.

Обычный формат: ширина – 7,5 м, высота – 5,7 м.

Линзо-растровый экран: ширина – 4 м, высота – 3 м.

Ширина плёнки – 70 мм, 35 мм.

Фонограмма: магнитная четырёх- и шестиканальная стерео, оптическая, моно.

Системы стереокино: «Стерео-70» и «Стерео-35/19»

В зрительном зале, рассчитанном на 442 зрителя, были установлены два киноэкрана. Большой алюминиевый киноэкран 11,5×5,7 метра – для демонстрации стереофильмов по поляроидному очковому методу. Всего за 1 минуту большой экран опускался в подэкранное пространство, открывая линзо-растровый стереоэкран размером 4×3 метра для демонстрации стереофильмов по безочковому методу.

Снятые по двум разным системам стереоскопические фильмы демонстрировались через день.

Мне удалось летом 1968 года успеть посмотреть оба эти фильма без очков в кинотеатре «Октябрь» на новом линзо-растровом экране. Их просмотр не вызвал никаких трудностей и доставил массу удовольствия. И если усовершенствованная система проекции была удобна для зрителей, то её эксплуатация создала трудности для прокатчиков, да и размер экрана был ограничен четырёхметровой шириной из-за технологической трудности изготовления листового стекла больших размеров. Очковый вариант позволял значительно увеличить размеры изображения на экране и тем самым усилить стереоэффект, а главное, позволял расширить географию стереокинотеатров по всей стране с меньшими затратами. В нашей стране началась эра поляроидного способа стереокинотеатров.

В конце 1968 года в Малом зале кинотеатра «Октябрь» демонстрация фильмов по безочковому методу была полностью заменена на поляроидный способ, и 1 октября 1968 года был выпущен на экран новый стереофильм режиссёра А. Кольцатого «Таинственный монах», который продержался в прокате более 10 лет. В эти годы выпускались и другие стереофильмы, но «Таинственный монах» не сходил с афиш стереокинотеатров Советского Союза много лет. В первый год проката в стереоскопическом и плоскостном варианте он собрал более 37 миллионов зрителей. В последующие годы «Таинственный монах» продолжал успешно демонстрироваться, и только в стереоформате его просмотрели более 30 миллионов человек.

В последующие годы в Малом зале демонстрировались стереофильмы, снятые по системе «Стерео-70». Зрители смотрели фильмы в поляризационных очках.



Сегодня в России уже нет оборудования для демонстрации фильмов по системе «Стерео-70», а в начале 70-х годов XX века вслед за Москвой в курортных городах и столицах союзных республик СССР начали открываться стереоскопические кинотеатры для демонстрации фильмов по этой системе. Всего в СССР и за рубежом было открыто более ста стереокинотеатров, демонстрировавших фильмы, снятые по системе «Стерео-70».

Международное признание системы «Стерео-70» началось в 1970 году на Всемирной выставке ЭКСПО-70 в Осака (Япония). Ни одна страна, представленная на выставке, не имела стереокинопоказа. И только в кинозале советского павильона демонстрировались стереоскопические фильмы. Для демонстрации плоскостных 70-мм и 35-мм фильмов в кинозале был установлен экран размерами 15,5×7 м, который перед показом стереофильмов поднимался, открывая установленный за ним линзо-растровый стереоэкран размерами 4×3 м для показа стереофильмов по безочковому методу. Для обеспечения удобства и высококачественного просмотра стереофильмов из 424 мест специальными разделительными линиями в центральной части кинозала были выделены 196 мест. В аппаратной кинозала были установлены универсальные мощные кинопроекторы КПК-30 с 10-киловаттными ксеноновыми лампами, а для демонстрации стереофильмов на 70-мм плёнке – кинопроекторы КП-30 с дугowymi лампами, снабжённые стереообъективами.

В день открытия выставки, 15 марта 1970 года, состоялась мировая премьера двух советских короткометражных стереофильмов: «Вашу лапу, медведь» (режиссёр Т. Лисициан, оператор А. Панасюк) и «Русские этюды» (режиссёр Е. Сташевская, операторы А. Панасюк, А. Ворopaев, П. Терпсихоров). Стереофильмы с огромным успехом демонстрировались ежедневно до 13 сентября, дня закрытия выставки.

В 1991 году отечественная система «Стерео-70» была удостоена премии «Оскар» Американской академии кинематографических искусств и наук в номинации «За техническое достижение».

Развитие и внедрение цифровых систем кинематографа в первом десятилетии XXI века открыли новую стра-

**Стереофильмы, демонстрировавшиеся  
в московском кинотеатре «Октябрь»**  
(В скобках указана дата выпуска на экран)

**По системе «Стерео-35/19»**  
«Человек в зелёной перчатке» (29.04.1968)

**По системе «Стерео-70»**  
«Нет и да» (30.04.1968), «Таинственный монах» (01.10.1968), «Русские этюды» (15.04.1970), «Вашу лапу, медведь!» (15.04.1970), «Парад аттракционов» (24.12.1971), «Осенние этюды Крыма» (1973), «SOS над тайгой» (20.05.1976), «Сувенир» (1977), «Здравствуй, Сочи!» (1977), «Замурованные в стекле» (28.12.1978), «Волшебное озеро» (1979), «Когда поют мужчины» (1980), «Игры животных» (1980), «Всадник на золотом коне» (26.06.1980), «О Сибири с любовью» (1981), «Жеребёнок в яблоках» (1981), «Зимой в Болгарию» (1981), «Моя Молдова» (1982), «Байкал, красота-то какая!» (1982), «Когда оживают острова» (1982), «Похищение века» (27.01.1982), «Ученик лекаря» (05.03.1984), «О странностях любви» (16.01.1985), «Шутки в сторону!» (11.09.1985), «На златом крыльце сидели...» (30.12.1986), «Она с метлой, он в чёрной шляпе» (09.12.1987), «Колокола» (1988), «Сувенир для прокурора» (15.05.1989), «Ванька-встанька» (1990), «Папанты, маманты – лохматое шоу» (1992), «Рысь идёт по следу» (1994).

ницу в истории стереоскопического кинематографа во всём мире.

В России уже сегодня десятки кинотеатров демонстрируют стереоскопические фильмы в цифровом формате.

В НИКФИ ведутся работы по созданию съёмочной камеры для цифровой съёмки по системе «Стерео-70». 13 июля 2010 года в Нью-Йорке на конференции SMPTE по 3D технологиям заведующий сектором цифрового стереокино ОАО «НИКФИ» А. Мелкумов выступил с докладом «Стереосъёмка одной цифровой камерой «Phantom-65» со стереообъективами системы «Стерео-70».

15 октября 2010 года в 18.00 Телекомпания НТВ-ПЛЮС при поддержке компании Panasonic начала регулярные передачи первого в России канала в формате 3D. Абоненты канала имеют возможность у себя дома смотреть в формате 3D фильмы, спортивные и музыкальные передачи.

В течение 2010 года Телекомпания НТВ-ПЛЮС неоднократно проводила прямые трансляции в трёхмерном формате финала лиги чемпионов и заключительные матчи чемпионата мира по футболу в ЮАР в московских кинотеатрах сети КАРО.

Совершенно очевидно, что создание стереоскопических каналов и регулярное вещание на них требует увеличения производства стереоскопических фильмов. А развитие цифровых технологий уже сегодня позволяет возвращать зрителям стереофильмы, снятые в XX веке на киностудиях мира по различным системам.

А их немало. Только по приблизительным подсчётам с 1915 по 2009 год было снято 524 фильма: Австралия – 2 фильма; Бельгия – 7; Канада – 37; Китай – 7; Франция – 32; Венгрия – 4; Индия – 16; Индонезия – 2; Италия – 10; Япония – 20; Испания – 8; Великобритания – 32; США – 327; США/Канада – 12; ФРГ – 8.

Только в России в период с 1940 по 1994 год было снято более 60 стереоскопических фильмов по 7 различным системам. Многие из них сегодня практически невозможно увидеть из-за отсутствия соответствующей проекционной аппаратуры. Перевод этих фильмов в цифровой формат – единственный способ унифицировать системы стереокино и вернуть старые фильмы на экран.

Итак. История стереоскопического кинематографа не закончится никогда. ■



**Министерство культуры Российской Федерации**  
**Союз кинематографистов Российской Федерации**  
**ФГУП «Московское конструкторское бюро киноаппаратуры»**  
**ОАО «Научно-исследовательский кинофотоинститут»**  
**Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения**  
**Московский киноvideоинститут**

Приглашают 21–22 апреля 2011 г. принять участие в работе III международной научно-технической конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях». Конференция состоится в Московском киноvideоинституте по адресу: Москва, ул. Академика Королёва, 21.

Ожидается участие в работе III конференции широкого круга специалистов, занимающихся исследованиями и практическим применением объёмного изображения не только в кинематографе, но и в других сферах деятельности; построенного не только на стереоэффектах, но и на основе голографических принципов.

Организаторы рассчитывают, что конференция позволит провести комплексный анализ состояния отечественного 3D кинематографа на всех этапах кинематографического процесса (от киносъёмки до кинопоказа) и выработать пути совершенствования:

- **записи, преобразования и воспроизведения объёмных изображений;**
- **производства кинотехники – от научных исследований до выпуска необходимых технических средств;**
- **создания, эксплуатации и хранения 3D контента.**

Цель конференции – обмен информацией, комплексный анализ и выработка путей совершенствования отечественного 3D кинематографа на всех этапах кинематографического процесса (от киносъёмки до кинопоказа) и на всех этапах производства кинотехники (от научных исследований до выпуска продукции: как кинотехники, так и контента).

На конференции планируется рассмотреть также вопросы применения объёмных изображений и в медицине, учебных процессах, тренажёрах, защитных системах и т.д.

Информационная поддержка конференции – журналы «Мир техники кино», «Техника и технологии кино», «MediaVision», газета «Новости Союза кинематографистов».

По итогам конференции будет издан сборник докладов.

Командировочные расходы и оплата гостиницы за счёт участников.

Срок подачи заявок на участие в работе конференции с докладом: 25 марта 2011 г.

Срок подачи заявок на участие в работе конференции без доклада: 8 апреля 2011 г.

Подробную информацию о предстоящей конференции можно узнать в оргкомитете по телефонам: (495) 619-86 11, (495) 618-82 07.

e-mail: ncenter@list.ru

Оргкомитет