

Мир Кино

ТЕХНИКИ

ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ | 3(29)-2013 |



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ОСНОВНОГО ТОНА В УСТРОЙСТВАХ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

ИМИТАТОР НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

ИСКАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБРАЗОВ В СТЕРЕОКИНО

ДИАГНОСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ КИНОТЕАТРАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

САМЫЕ ПЕРВЫЕ В ИСТОРИИ МИРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА



100 ЛЕТ В. Г. КОМАРУ,
НАШЕМУ ВЫДАЮЩЕМУСЯ УЧЁНОМУ,
СОЗДАТЕЛЮ СИСТЕМЫ
ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КИНЕМАТОГРАФА

№ 29 СОДЕРЖАНИЕ

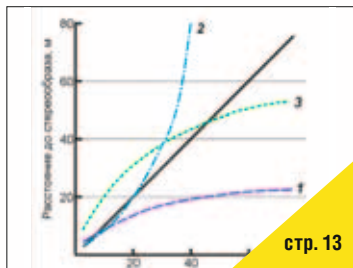


стр. 2

Юбилей, знаменательные даты

100 лет В.Г. Комару

2



стр. 13

Технологии

М.А. Чесноков, А.В. Кривошейкин

Определение периода основного тона в устройствах шумоподавления речевых сигналов

4

Л.С. Тихонова

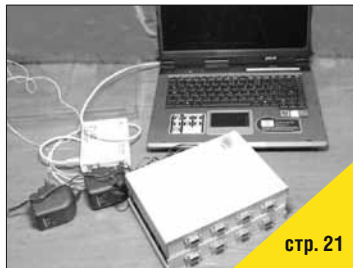
Имитатор нелинейных искажений электрического сигнала звуковой частоты

8

С.Н. Рожков, Г.И. Рожкова

Искажения пространственных образов в стереокино: иллюзии уменьшения, увеличения и уплощения объектов

13



стр. 21

Д.В. Ляпцев, А.А. Белоусов

Решения и проблемы создания информационно-измерительного комплекса для диагностики оборудования кинотеатральных объектов

21

Мастер-класс, семинары, новости smpte, отзывы

А. Жирков, А. Путилин

Трёхмерное видео с континуальным ракурсом: съёмка, модель и отображение

26



стр. 34

Страницы истории кино

Н.А. Майоров

Самые первые в истории развития мирового кинематографа (продолжение. Начало в МТК № 27, 28)

34

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

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

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: 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:
Аверина Наталия Владимировна
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., СПбГУКиТ
Тимофеев А.Е., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Переудов А.Ф., к.т.н., СПбГУКиТ
Блохин А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Барский И.Д., к.т.н., ВГИК
Одинокоев С.Б., д.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Раев О.Н., к.т.н., МКБК
Волков А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5 п.л. Заказ № 124226.
Тираж 2000 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 и рецензентов не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.

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



29 сентября 2013 года исполнилось



100 лет ВИКТОРУ ГРИГОРЬЕВИЧУ КОМАРУ,

выдающемуся учёному в области теории и техники кинематографа, создателю отечественной системы голографического объёмного театрального кинематографа



Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации Виктор Григорьевич Комар работает в кинематографии непрерывно с 1937 года, в том числе до 1942 года – в Научно-исследовательском институте киностроительства (НИИКС), а потом в Научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ), где Виктор Григорьевич продолжает трудиться в настоящее время.

С 1950 года по 1981 Виктор Григорьевич осуществлял научное руководство НИКФИ, занимая должности заместителя директора института по научной работе и директора института.

При Викторе Григорьевиче в НИКФИ сложился уникальный коллектив высококвалифицированных специалистов в разных областях – оптика, механика, фотохимия, звукотехника, электроника и пр. Под руководством Виктора Григорьевича проводились комплексные теоретические и экспериментальные исследования кинематографических процессов и разработка новых технических средств, результаты которых внедрялись в кинопроизводство в тесной связи как с работниками искусства кино, так и специалистами предприятий отрасли.

К числу основополагающих исследований, выполненных НИКФИ в то время, когда научное руководство институтом осуществлял В.Г. Комар, относятся: исследование физических основ кинотехники и установление основных закономерностей её развития; изучение природы фотографической чувствительности и разработка теории фотографического процесса; исследования в области звукового кинопоказа, акустики и электроакустики; разработка теоретических основ передачи цвета; работы в области объёмных изображений; исследования процессов химико-фотографической обработки светочувствительных материалов, проводились разработки систем киноплёночного широкоэкранного, широкоформатного, панорамного и вариоскопического – поликадрового кинематографа. Работы в части исследования качества изображения в кинематографе, в том числе цифровом, до сих пор признаны классическими не только в России, но и за рубежом.

В 1974 г. Виктор Григорьевич инициировал и возглавил в НИКФИ исследования и разработку голографической системы объёмного театрального кинематографа. Им были предложены и обоснованы теоретически основные

принципы создания такой системы. И уже в 1976 году, впервые в мире, на проходившем в Москве конгрессе УНИАТЕК был продемонстрирован короткий голографический фильм с объёмным одноцветным изображением на оригинальном, предложенном В.Г. Комаром, голографическом экране одновременно нескольким зрителям. Таким образом, основные принципиальные положения, лежащие в основе создания голографического кинематографа, были подтверждены экспериментально. Позднее, в 1984 г. в НИКФИ впервые была осуществлена съёмка на киностудии им. А.М. Горького и проекция экспериментального голографического киноролика уже с цветным объёмным изображением и была начата подготовка к съёмкам анимационного кукольного голографического фильма. Однако из-за прекращения финансирования в 1987 году работы были приостановлены.

В середине 90-х годов Виктором Григорьевичем в развитие системы голографического кинематографа был предложен метод многоракурсной съёмки в белом свете и проекции трёхмерных изображений на голографический экран. Этот метод был опробован в НИКФИ с участием Корейского института науки и технологии (КИСТ, город Сеул) и нескольких организаций электронной техники России. Выполненное исследование и созданная лабораторная установка подтвердили возможность применения многоракурсного метода для киносъёмки фрагментов голографических фильмов, в том числе больших сцен.

В 2000-е годы для упрощения технологии получения большого числа ракурсов объёмного изображения, необходимых для лучшего оглядывания, Виктором Григорьевичем были предложены оригинальные алгоритмы интерполяции промежуточных ракурсов по двум-тремя основным. Этот алгоритм был успешно апробирован аспирантом В.Г. Комара, разработавшим компьютерные программы для реализации этих алгоритмов, показавшие хорошие результаты по синтезу изображений промежуточных ракурсов.

Следует отметить, что многочисленные ученики Виктора Григорьевича продолжают работать, применяя знания, полученные в ОАО «НИКФИ» и разных отраслях науки и техники.

На протяжении многих лет Комар В.Г. руководил работами по отечественной и международной стандартизации, являясь председателем второй рабочей группы (РГ2) «Техника и технология печати и обработки фильмовых материалов» Технического Комитета ТК36 «Ки-

нематография» Международной организации по стандартизации ИСО. В 2010 году в Москве проходило очередное, 21-ое Пленарное заседание ИСО/ТК36 «Кинематография». Для участия в заседании прибыли делегаты из стран Великобритании, Канады, Китая, США, Южной Кореи – действительные члены ИСО. Обсуждение международных документов проводилось по 33 международным стандартам в четырёх рабочих группах. Виктор Григорьевич Комар, возглавляющий РГ2, принимал активное участие в работе 21-го Пленарного заседания, подготовил и представил отчёт о работе группы, который был одобрен и утверждён участниками заседания.

За время многолетней работы Виктором Григорьевичем опубликовано более 180 книг и статей, 24 статьи опубликованы в научно-технических журналах США, Франции, Германии, Японии, Чехословакии, Венгрии, Болгарии, Польши. Работа «Принципы голографического кинематографа» включена в сборник избранных работ «Фундаментальная техника по голографии», изданный Американским оптическим инженерным обществом (SPIE). В.Г. Комар является почётным членом Американского общества инженеров кино и телевидения (SMPTE), Английского общества кино, телевидения и звука (BKSTS). Он академик Международной Академии информатизации, кавалер Ордена Красной Звезды (1944 год, за работы по созданию техники для обороны страны в годы Великой Отечественной войны), Ордена Трудового Красного Знамени (1971), французского ордена «Мэтр кинематографии» (1979), Ордена Почёта Российской Федерации (1999), английского ордена «За Заслуги» (2001), Ордена «За заслуги перед Отечеством IV степени» (2009). Он член Союза кинематографистов Российской Федерации, академик Российской академии кинематографических искусств «НИКА», лауреат Национальной кинематографической премии «НИКА» (2002 год, за вклад в кинематографические науки).

Биография В.Г. Комара включена в книги: «Кто есть кто в мире» (США, 2003–2011 годы) и «Тысяча великих интеллектуалов» (Англия, 2003 год).

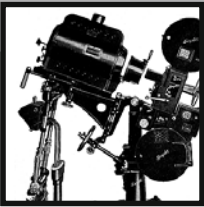
В настоящее время Виктор Григорьевич Комар занимает должность Главного консультанта по научно-исследовательской работе ОАО «НИКФИ».

Вот уже семь лет Виктор Григорьевич является активным членом Редакционного Совета научно-технического журнала «Мир техники кино». ■

Сотрудники ОАО «НИКФИ» и ФГУП «ОП НИКФИ»

**поздравляют
Виктора Григорьевича
с юбилеем**

**и желают ему здоровья
и дальнейших достижений
в неутомимой деятельности учёного,
изобретателя, экспериментатора!**



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ОСНОВНОГО ТОНА В УСТРОЙСТВАХ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

М.А. Чесноков,
аспирант,
А.В. Кривошейкин,
научный руководитель,
СПбГУКиТ



Аннотация

В ряде технических приложений используется спектр сигнала источника информации с целью выделения информации о свойствах источника, его местоположении, выделения сигнала из смеси с шумами, сжатия объёма сигнала, и т.д. Одним из таких приложений является обработка сигнала в задачах распознавания речи и повышения её разборчивости. Повсеместное внедрение цифровых методов позволило реализовать программные принципы построения устройств обработки сигнала, но выдвинуло ряд проблем, связанных с дискретным способом описания сигналов. В частности, при значительной ширине спектра сигнала возникает проблема выбора такого шага дискретизации, который исключает потерю существенно важных составляющих спектра. Тривиальное решение, связанное с выбором очень малого шага дискретизации, приводит к требованию иметь в вычислительных средствах значительный объём памяти и высокую скорость обработки. В данной статье, применительно к задаче цифровой обработки речевого сигнала в слуховом аппарате, рассмотрен метод, позволяющий решить проблему выбора шага дискретизации путём решения задачи аппроксимации сигнала на ограниченном множестве дискретных отсчётов.

Ключевые слова: спектральный анализ, распознавание речи, основной тон, цифровая обработка сигналов, шумоподавление, слуховой аппарат.

DEFINITION OF THE PITCH PERIOD OF THE VOICE IN THE NOISE REDUCTION DEVICES

M. Chesnokov, A. Krivosheikin

Abstract

In some technical applications are used spectrum of signal of source information to extract information about the properties of the source, its location, to separation of the mixture with noises, to compressing the signal, etc. Some of these applications are voice recognition and enhance intelligibility. Widespread introduction digital techniques has allowed to create the program to implement principles of signal processing units, but raised a number of problems associated with a discrete way to describe the signals. In particular, when used a signal with broad spectral band, then arise the problem of choosing a step sampling which eliminates the loss of essential components of the spectrum. The trivial solution associated with the choice of a very small sample interval, leads to the requirement to have a means of computing with large memory and high processing speed. In this article has presented a method to solve the problem by choosing step of sampling signal by method of approximation a limited set of discrete samples in field of digital speech signal processing in particular in the hearing aids.

Keywords: spectral analysis, speech recognition, basic tone, digital signal processing, noise reduction, hearing aid.

■ Введение

В ряде технических приложений используется спектр сигнала источника информации с целью выделения

информации о свойствах источника [1], его местоположении [2], выделения сигнала из смеси с шумами [3], сжатия объёма сигнала [4], и т.д. Одним из таких прило-

жений является обработка сигнала в задачах распознавания речи [5] и повышения её разборчивости [6].

Повсеместное внедрение цифровых методов позволило реализовать программные принципы построения устройств обработки сигнала, но выдвинуло ряд проблем, связанных с дискретным способом описания сигналов. В частности, при значительной ширине спектра сигнала возникает проблема выбора такого шага дискретизации, который исключает потерю существенно важных составляющих спектра. Тривиальное решение, связанное с выбором очень малого шага дискретизации, приводит к требованию иметь в вычислительных средствах значительный объём памяти и высокую скорость обработки. Зачастую спектр исследуемого сигнала может быть неизвестен. В этом случае тривиальное решение становится невозможным.

В данной работе, применительно к задаче цифровой обработки речевого сигнала в слуховом аппарате, рассмотрен метод, позволяющий решить проблему выбора шага дискретизации путём решения задачи аппроксимации сигнала на ограниченном множестве дискретных отсчётов. Необходимость в разработке этого метода обусловлена тем, что малые размеры слухового аппарата и требования к минимизации потребляемой им мощности ограничивают объём памяти и быстродействие используемого в них процессора.

Постановка задачи

В спектре речевого сигнала присутствуют: составляющая, называемая основным тоном, и так называемые обертона, т.е. её гармоники. В [7] рассмотрен метод выделения периодических составляющих речевого сигнала из смеси с шумами при условии, что период основного тона T_0 известен. Обратимся к самой задаче отыскания периода основного тона по заданным значениям дискретизированного речевого сигнала.

Среди множества методов поиска частоты или периода основного тона [8] выберем для реализации метод нормированной автокорреляционной функции (АКФ) $S(\tau)$, апробированный в задачах построения низкоскоростных вокодеров и слуховых аппаратов [9]. Второй максимум этой функции достигается в точке τ на оси времени, совпадающей с периодом основного тона, т.е. $\tau = T_0$.

Алгоритм поиска периода основного тона

Для дискретного речевого сигнала функция автокорреляции $S_d(\tau_d) = S_d(nT_d)$ является дискретной, где T_d – период дискретизации, n – номер отсчёта дискретной функции. Поиск второго максимума осуществляется простым перебором дискретных отсчётов функции $S_d(nT_d)$ так, что выполняется условие

$$\max_{n=1,2,\dots} S_d(nT_d) = S_d(n_{\max}T_d), \text{ где } n - \text{целое число.}$$

Если значение n_{\max} удовлетворяет условию $n_{\max} = T_0/T_d$, то $S_d(n_{\max}T_d) = S(T_0)$, т.е. точки максимума дискретной и непрерывной автокорреляционных функций со-

падают. Следовательно, искомое значение периода основного тона равно: $T_0 = n_{\max} * T_d$.

Если условие (1) не выполняется, то точка максимума дискретной функции автокорреляции $S_d(\tau_d)$ не совпадает с точкой максимума исходной непрерывной функции автокорреляции $S(\tau)$, и значение периода основного тона T_0 находится с ошибкой. В обоих случаях известна область значений τ_d , внутри которой находится искомое значение периода T_0 .

Эта область представляет собой дискретное множество G точек отсчёта автокорреляционной функции, лежащих в окрестности точки максимума $\tau_{d\max} = n_{\max} * T_d$. Для уменьшения ошибки определения периода основного тона T_0 по дискретным значениям автокорреляционной функции предлагается построить полином $\hat{S}(\tau)$, аппроксимирующий по среднеквадратичному критерию функцию $S_d(\tau_d)$, $\tau_d \in G$, заданную на дискретном множестве G .

Так как АКФ периодического сигнала является периодической с тем же периодом и вогнутой в окрестности максимума, то в качестве полинома выберем степенной полином второго порядка $\hat{S}(\tau) = a * \tau^2 + b * \tau + c$.

Значения коэффициентов a, b, c находятся методом наименьших квадратов как результат решения системы трёх линейных уравнений [10]:

$$\left. \begin{aligned} a * \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^2 + b * \sum_{i=1}^N \tau_d^{(i)} + c * N &= \sum_{i=1}^N S_d(\tau_d^{(i)}) \\ a * \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^3 + b * \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^2 + c * \sum_{i=1}^N \tau_d^{(i)} &= \sum_{i=1}^N \tau_d^{(i)} * \hat{S}_d(\tau_d^{(i)}) \\ a * \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^4 + b * \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^3 + c * \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^2 &= \sum_{i=1}^N (\tau_d^{(i)})^2 * \hat{S}_d(\tau_d^{(i)}) \end{aligned} \right\} (1)$$

Здесь N – количество точек, составляющих дискретное множество G .

Опишем алгоритм определения периода ОТ. Он выполняется не для каждого отсчёта, а внутри некоторых интервалов – кадров. Длина кадра приблизительно равна 30 мс и составляет 256 периодов дискретизации. Кадры следуют с частичным наложением длительностью приблизительно в 15 мс, т.е. 128 периодов дискретизации и записываются в буфер. При заполнении буфера на все 256 отсчётов производится нахождение АКФ для данной выборки. Далее производится поиск глобального максимума в диапазоне допустимых значений. Под допустимыми значениями далее будем понимать значения периода ОТ, связанные с наиболее распространёнными значениями частот ОТ.

В соответствии с [11], диапазон частот, занимаемый возможными значениями частоты ОТ, лежит в пределах от 80 до 320 Гц. В среднем, для мужского голоса частота ОТ лежит в пределах от 80 до 210 Гц, для женского – от 150 до 320 Гц, что соответствует временному интервалу от 3,1 мс до 12,5 мс.

После получения информации о местоположении глобального максимума АКФ производится набор отсчётов АКФ из прилегающей к нему области.

В данной системе используется по 3 отсчёта, прилежащих к глобальному максимуму с обеих сторон. В итоге выборка включает в себя $N = 7$ отсчётов.

На основе данной выборки составляется и решается система (1) и находятся коэффициенты уравнения параболы. Используя коэффициенты, рассчитывается положение максимума аппроксимирующей функции на оси частот, и находится период ОТ, как величина, обратная частоте, доставляющей максимум аппроксимирующей функции.

Проиллюстрируем работу вышеописанного алгоритма определителя периода ОТ на модели цифровой системы определителя периода ОТ с частотой дискретизации 8 кГц.

Было произведено моделирование данного определителя периода ОТ в системе MATLAB. В качестве входного сигнала был взят испытательный сигнал в виде суммы гармоник с различными амплитудами. Спектр входного сигнала представлен на рис. 1.

Частота основного тона сигнала составляет 192,77 Гц, что соответствует периоду 5,2 мс, или выраженный в периодах дискретизации соответствует 41,5 отсчёту. На вход системы был подан сигнал, как при отсутствии шумов, так и в аддитивной смеси с белым шумом для двух

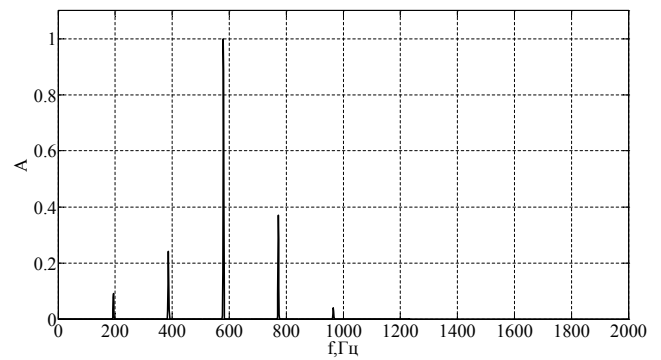
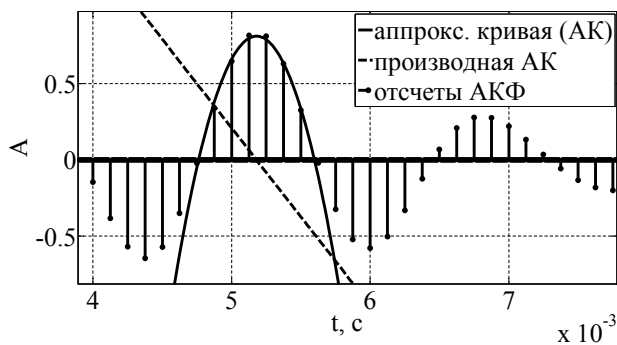


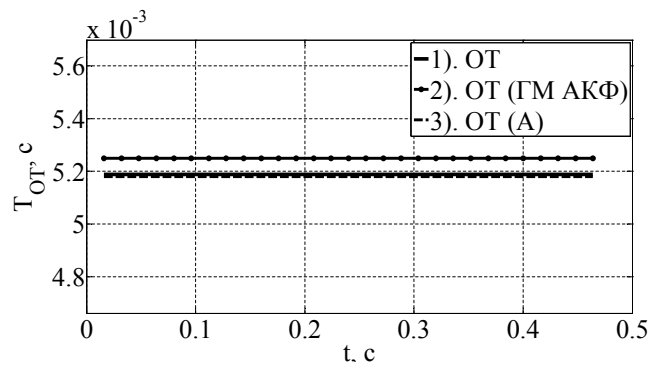
Рис. 1. Нормированная спектральная плотность входного испытательного сигнала

случаев: ОСШ=3дБ и ОСШ=-3дБ. На рис. 2, 3, 4 представлены результаты моделирования.

Во всех графиках с обозначением а), изображённых на рис. 2, 3, 4, использованы выборки сигналов длиной в один кадр. Период ОТ соответствует точке пересечения производной от аппроксимирующей функции с осью абсцисс. Рассчитанный период ОТ, вне зависимости от значения ОСШ, практически, совпадает с периодом ОТ испытательного сигнала.

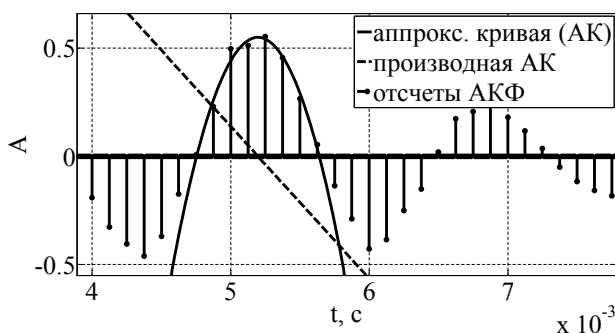


а)

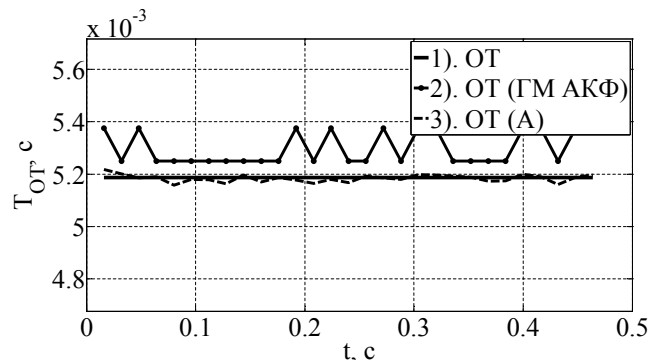


б)

Рис. 2. Работа системы определителя периода ОТ при отсутствии шумов во входном сигнале: а) отсчеты АКФ, аппроксимирующая кривая и её производная; б) траектории периода ОТ: 1) истинное значение, 2) положение глобального максимума АКФ, 3) уточнённое значение периода ОТ



а)



б)

Рис. 3. Работа системы определителя периода ОТ при ОСШ входного сигнала 3дБ: а) отсчеты АКФ, аппроксимирующая кривая и её производная; б) траектории периода ОТ: 1) истинное значение, 2) положение глобального максимума АКФ, 3) уточнённое значение периода ОТ

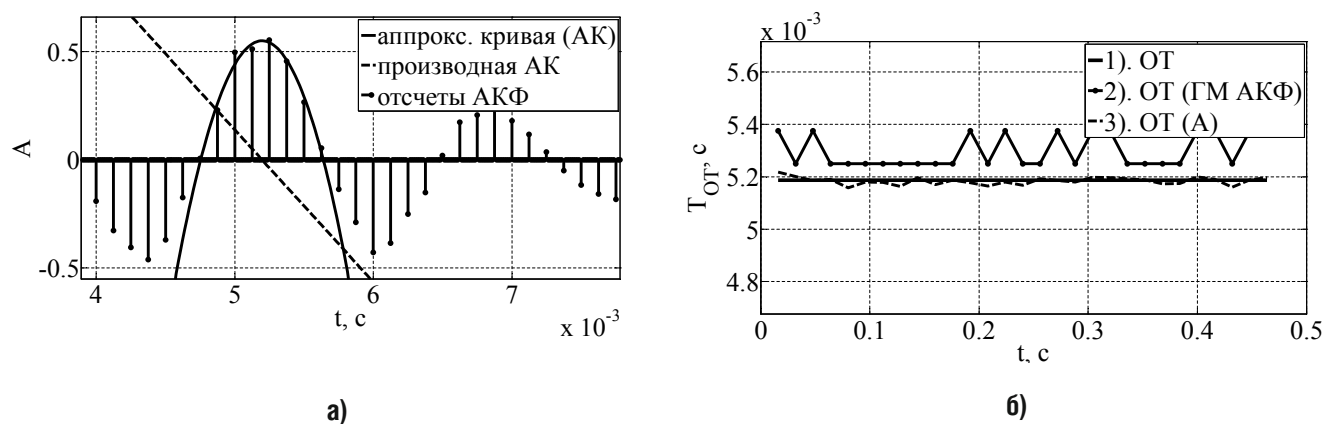


Рис. 4. Работа системы определителя периода ОТ при ОСШ входного сигнала минус 3дБ: а) отсчеты АКФ, аппроксимирующая кривая и её производная; б) траектории периода ОТ: 1) истинное значение, 2) положение глобального максимума АКФ, 3) уточнённое значение периода ОТ

Во всех графиках с обозначением б), изображённых на рис. 2, 3, 4, отражены изменения ОТ при переходе от кадра к кадру. Период ОТ, определённый для дискретной функции, отличается от истинного периода ОТ испытательного сигнала, причём это отличие увеличивается при уменьшении значения ОСШ. Период ОТ для аппроксимирующей функции определяется со значительно меньшей погрешностью по сравнению с дискретной функцией.

Графики, представленные на рис. 2, 3 и 4, свидетельствуют о существенном сокращении разброса значений оценки периода ОТ при использовании аппроксимации

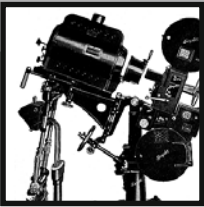
дискретной функции автокорреляции по сравнению со значением периода ОТ, рассчитанным непосредственно по дискретным значениям функции автокорреляции.

Заключение

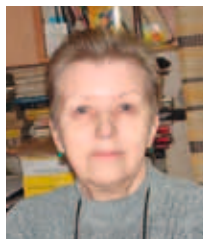
Предложен метод определения периода основного тона речевого сигнала, основанный на построении полинома, аппроксимирующего дискретную функцию автокорреляции на ограниченном множестве точек отсчёта. Моделирование в среде MATLAB подтвердило эффективность разработанного метода и его устойчивость при появлении шумов в составе речевого сигнала. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Рассказов И.Ю., Искра А.Ю., Калинов Г.А., Аникин П.А., Гладырь А.В., Рассказов М.И., Сидляр А.В. Особенности регистрации и обработки данных геоакустического контроля массива горных пород на действующем руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011, №7. С. 212-218.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004.
3. Brian King. Enhancing Single-Channel Speech in Wind Noise Using Coherent Modulation Comb Filtering, MSEE Thesis, University of Washington, 2008.
4. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учебное пособие для вузов. М.: Радиосвязь, 2002, 440 с.
5. Гребнов С.В. Методы шумоочистки в задачах распознавания речи. / С.В. Гребнов // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XV Бенардосовские чтения), 27–29 мая. Федеральное агентство по образованию, ИГЭУ. Иваново, 2009. Т.1. С. 60–61.
6. Прохоренко Е.И. Цифровое кодирование клиппированной речи с сохранением разборчивости и узнаваемости диктора / Е.И. Прохоренко, И.А. Сидоренко, А.В. Болдышев. БелГУ // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 2008. № 17, вып. 8. С. 91–96.
7. Чесноков М.А. Подстраиваемый цифровой гребенчатый фильтр с произвольной длиной линии задержки. Сборник материалов «Неделя науки и творчества 2013», СПбГУКИТ, 2013.
8. Рабинер Р., Шафер Р. Цифровая обработка речевых сигналов: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981, 495 с.
9. Бабкин В.В. Помехоустойчивые выделители основного тона для низкоскоростных вокодеров и цифровых слуховых аппаратов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени к.т.н. Государственный технический университет связи и информации им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2003.
10. Гери М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. Пер. с англ. Москва, «МИР», 1982.
11. Ashby, Michael, & John Maidment. Introducing Phonetic Science. Cambridge: CUP, 2005.



ИМИТАТОР НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ электрического сигнала звуковой частоты



Л.С. Тихонова, к.т.н., СПбГУКИТ

Аннотация

Предложено системотехническое решение устройства, моделирующего различные виды нелинейных искажений электрического сигнала, возникающих в звукотехнической аппаратуре, и в частности, в усилителях мощности. Устройство предназначено для технического обеспечения проведения различных звукотехнических измерительных процедур: сравнительной оценки чувствительности стандартизованных и вновь предлагаемых методов измерения параметров амплитудной нелинейности, субъективных экспертиз заметности искажений на сигналах различной формы, включая сигналы аудиопрограмм, в других научных целях, а также в учебном процессе обучения по звукотехническим и творческим направлениям.

Ключевые слова: модель, искажения, измерения.

■ Разработке устройства предшествовали исследования возможных видов и механизмов возникновения нелинейности передаточных характеристик звукотехнической аппаратуры, изучение источников информации о субъективном восприятии различных видов искажений и порогах их заметности, что позволило реализовать прибор для имитаций отобранных видов нелинейных искажений с их количественными вариациями от порога неуверенной заметности до порога терпимости.

NONLINEAR DISTORTION SIMULATOR OF AUDIBLE FREQUENCY ELECTRIC SIGNAL

L. Tikhonova

Abstract

This paper is devoted to the simulator of electric signal's nonlinear distortions that appear to be in acoustical instrumentation, power amplifiers in particular. The device is intended for being used during measurement procedures: comparative evaluation of amplitude nonlinearity measurement methods (standartized and new) sensitivity, subjective examination of distortion visibility on different types of signals, including sound processing software, research or academic purposes.

Keywords: model, distortion, measurement.

Обобщённая модель имитатора

Для проведения анализа механизмов возникновения нелинейных искажений в звукотехнической аппаратуре составим модель устройства. По степени сложности модели делятся на ряд типов. Остановимся на модели типа «серый ящик», которая содержит лишь некоторую наиболее существенную, в смысле влияния на формирование механизмов возникновения искажений, информацию о структуре моделируемой системы. Такая модель

полезна для анализа, поскольку позволяет перейти от рассмотрения конкретных устройств к рассмотрению устройства, структура которого отражает наиболее выраженные тенденции современного проектирования и оказывающие существенное влияние на качество звукопередачи устройств, построенных на базе различной элементной базы.

Обратимся к модели, представляющей собой простейшую модель усилителя, содержащего три группы каскадов в канале прямого усиления, охваченных цепью общей отрицательной обратной связи (ООС) – рис. 1. Структура модели отражает наиболее распространённый принцип построения схем полупроводниковых усилителей сигналов звуковой частоты в дискретном и интегральном исполнениях. Выбранная структура модели позволяет отразить присутствие линейных и нелинейных искажений в отдельных группах каскадов и в усилителе в целом.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: УС1 – первая усилительная ступень (входные, или предкорректирующие каскады); КС – корректирующая ступень (каскады частотной коррекции); УС2 – вторая усилительная ступень (каскады усиления по напряжению или мощности); ООС – частотно-независимая цепь общей ООС.

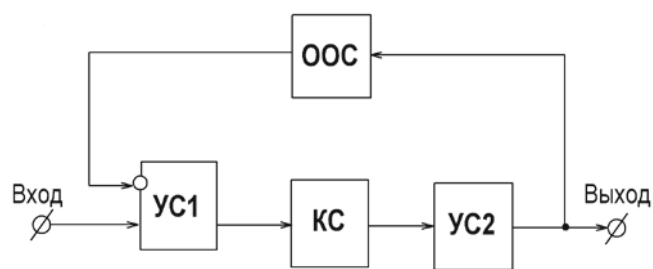


Рис. 1. Обобщённая модель устройства

Предположим, что канал прямого усиления не поворачивает фазы сигнала, а отрицательный характер общей обратной связи обеспечивается подачей сигнала с выхода цепи обратной связи на инвертирующий вход ступени УС1.

Для достижения устойчивости усилителя, при замыкании цепи общей ООС постоянную времени ступени КС выберем такой величины, чтобы она являлась доминирующим полюсом не только этой ступени, но и всего усилителя с разомкнутой петлёй обратной связи. Нелинейностью этой группы каскадов пренебрежём.

Интерес представляет рассмотрение случаев, когда преобладающая нелинейность сосредоточена либо во входных, либо в выходных каскадах, либо в тех и других одновременно, что соответствует возможным на практике ситуациям и позволит выявить различия в сущности и форме проявления на сигналах этих различных механизмов возникновения искажений. Следует отметить, что чётность или нечётность характера нелинейности весьма существенно влияет на восприятие искажений.

Случай 1

Преобладающая нелинейность сосредоточена во входных предкорректирующих каскадах УС1, при этом нелинейностью выходных каскадов УС2 пренебрежём. Такая модель отражает, например, свойства реальных дифференциальных операционных усилителей второго и третьего поколения со встроенной частотной коррекцией. В общем случае, при проектировании усилительных устройств, как в дискретном, так и в интегральном исполнении, к подобной ситуации приводят такие задачи и приёмы, как уменьшение количества каскадов за счёт увеличения усиления входных каскадов, улучшение точностных показателей усилителей постоянного тока за счёт уменьшения входного тока и увеличения входного сопротивления, улучшения отношения сигнал/шум за счёт использования режимов микротоков во входных каскадах и. т. п.

Случай 2

Преобладающая нелинейность сосредоточена в выходных каскадах УС2 с высоким уровнем сигнала, при этом нелинейностью входных каскадов УС1 пренебрежём. На практике к этому случаю можно отнести построение операционных усилителей первого поколения, а также схемы более поздних поколений, в которых уделено внимание повышению быстродействия в динамическом режиме работы, но сделано это за счёт ухудшения точностных показателей, что может привести к возможности изменения исходных режимов каскадов. К данному случаю можно отнести искажения типа «центральная отсечка», свойственные режиму работы класса В оконечных каскадов усилителей мощности сигналов звуковой частоты.

Случай 3

Существенная нелинейность присуща как входной, так и выходной ступеням. На практике это возможно при сочетании приёмов, приводящих к первым двум случаям, рассмотренным выше.

Составленная модель усилителя в первом случае вносит так называемые динамические переходные искажения (ДПИ), то есть частотно-зависимые нелинейные искажения, характеризующиеся ростом интенсивности продуктов нелинейности в области высоких частот. Как известно, ДПИ обусловлены узкой частотной полосой пропускания канала прямого усиления, наличием глубокой ООС, а также ограниченной перегрузочной способностью входных каскадов усиления канала прямого усиления, включённых в петлю общей ООС. В работах, посвящённых заметности ДПИ, отмечается, что они заметны на быстроизменяющихся сигналах высокого уровня. На слух эти искажения воспринимаются подобно искажениям типа «центральная отсечка», заметным на сигналах низкого уровня. Весьма полезно сравнить проявление тех и других искажений на реальных сигналах в ходе субъективных экспертиз.

Механизмы возникновения нелинейных искажений для означенных выше случаев различны как по своей существенности, так и по форме проявления на испытательных и реальных вещательных сигналах.

Функциональная схема имитатора

Модель, структура которой представлена, легла в основу функциональной схемы технического устройства – имитатора нелинейных искажений (ИНИ). Основными имитируемыми видами нелинейных искажений являются искажения типа «ограничение», «центральная отсечка» и ДПИ. Для реализации ДПИ необходимо присутствие ограниченной перегрузочной способности входной ступени УС1, наличие в канале прямого усиления ступенчатой частотной коррекцией в ступени КС и заданной величины глубины общей ООС. Для реализации нелинейных искажений типа «ограничение» и «центральная отсечка» необходимы нелинейные цепи, имеющие возможность комбинированного подключения. Необходимо также предусмотреть возможность плавной регулировки степени этих искажений, кроме того, ограничение должно иметь мягкий или жёсткий, симметричный или несимметричный характеры.

Общий коэффициент усиления имитатора необходимо поддерживать равным единице, то есть должно выполняться условие равенства значений входного и выходного напряжений. Для удобства обращения с прибором последнее условие должно осуществляться автоматически и подтверждаться световым сигналом.

Перечисленным условиям удовлетворяет функциональная схема имитатора, представленная на рис. 2 [1].

Устройство содержит входную и выходную клеммы для подключения внешних устройств, между которыми

расположены последовательно соединённые первый автоматический аттенюатор (АТТ1), первая усилительная ступень (УС1), подключённая к выходу АТТ1 своим неинвертирующим входом, корректирующая ступень (КС), вторая усилительная ступень (УС2), второй автоматический аттенюатор (АТТ2). Также устройство содержит цепь общей отрицательной обратной связи (ООС), вход которой подключён к выходу УС2, а выход – к инвертирующему входу УС1, индикатор уровня (ИУ), подключённый к выходной клемме, первую нелинейную цепь (НЦ1), подключаемую либо к выходу УС1, либо к выходу УС2 с помощью первого двухпозиционного переключателя (П1) или вовсе отключаемую первым выключателем (В1), вторую нелинейную цепь (НЦ2), имеющую возможность быть подключённой к выходу УС2 с помощью второго выключателя (В2). Блок сравнения (БС) осуществляет согласованное управление настройкой аттенюаторов АТТ1 и АТТ2 своим выходным сигналом, подаваемым одновременно на их входы управления. К первому входу БС подключён блок опорного напряжения (БОН), а второй вход БС с помощью второго двухпозиционного переключателя П2 может быть подключён либо к выходу АТТ1, либо к блоку ручного управления (БРУ). Устройство также содержит первый блок индикации настройки (БИН1), подключённый к выходу АТТ1, второй блок индикации настройки (БИН2), имеющий три входа, первый из которых подключён к входной клемме, второй – к выходной клемме, а третий – к БОН.

При этом корректирующая ступень КС, блок ручного управления БРУ, первая НЦ1 и вторая НЦ2 выполнены перестраиваемыми и имеют возможность как ступенчатой, так и плавной перестройки, а оба аттенюатора АТТ1 и АТТ2 перестраиваются одновременно. Следует особо

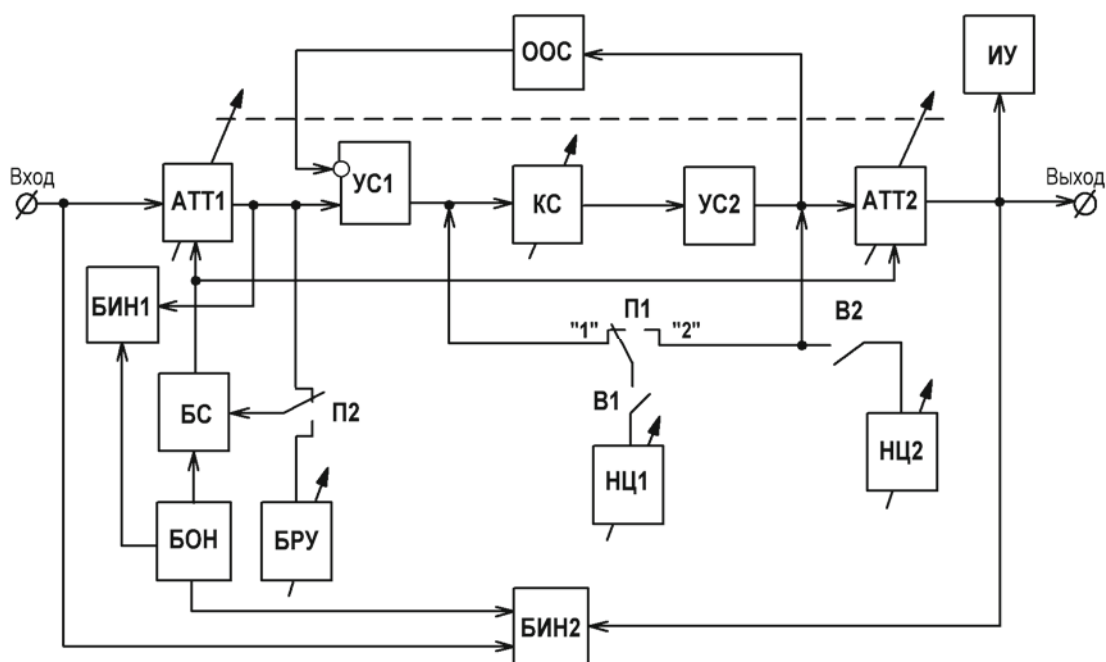


Рис. 2. Функциональная схема имитатора

отметить, что все подвижные элементы переключателей, выключателей, переменных резисторов вынесены на лицевую панель прибора, снабжены надписями принадлежности и отметками степени регулирования.

Усилительные ступени УС1 и УС2 являются квазилинейными. Формирование нелинейности этих ступеней осуществляется подключением к их выходам перестраиваемых нелинейных цепей НЦ1 и НЦ2. Подключение НЦ1 к выходу УС1 с помощью переключателя П1 в положении «1» или к выходу УС2 (положение «2») позволяет имитировать искажения типа «ограничение» в этих ступенях: симметричное «мягкое», симметричное «жесткое», несимметричное «мягкое», несимметричное «жесткое», что обеспечивается наличием переключателей и переменных резисторов в схеме цепи НЦ1.

В сочетании с регулируемыми линейными искажениями, вносимыми ступенью КС, подключение первой цепи НЦ1 к выходу УС1 позволяет имитировать ДПИ.

Подключение второй цепи НЦ2 к выходу ступени УС2 позволяет ввести искажения типа «центральная отсечка». К ним могут быть добавлены искажения типа «ограничение» подключением первой цепи НЦ1 к выходу второй ступени УС2. Также возможно сочетание искажений типа «ограничение» в первой ступени УС1 и искажений типа «центральная отсечка» во второй ступени УС2, сочетание ДПИ и искажений типа «центральная отсечка» во второй ступени УС2.

Отключение обеих нелинейных цепей НЦ1 и НЦ2 с помощью выключателей В1 и В2, соответственно, позволяет перейти к имитации линейных искажений, величина которых может изменяться в регулируемой корректирующей ступени КС.

В процессе эксплуатации устройства возможны случаи его включения в различные по уровню сигнала точки измерительной установки или тракта звуковоспроизведения. В связи с этим устройство должно обладать широким диапазоном входных напряжений при гарантированном попадании в зону нелинейности цепи НЦ1 при подключении её как к выходу первой ступени УС1, так и к выходу второй ступени УС2. К тому же, к входной клемме могут подключаться источники испытательного сигнала и сигнала аудиопрограмм, уровень выходного сигнала которых может быть произвольной величины в широком диапазоне значений. Первый аттенюатор АТТ1 позволяет привести возможные уровни сигнала источников к заданной величине уровня входного сигнала ступени УС1. Настройка аттенюатора АТТ1 осуществляется автоматически с помощью сигнала, подаваемого на его вход управления и формируемого блоком сравнения БС, как результат воздействия на его первый вход сигнала с выхода первого аттенюатора АТТ1, а на его второй вход сигнала с выхода блока БОН. Блок сравнения БС вырабатывает сигнал ошибки, который управляет степенью вносимого аттенюатором АТТ1 затухания, что происходит до тех пор, пока не будет достигнут задаваемый блоком БОН уровень сигнала на не инвертирующем

входе ступени УС1, соответствующий попаданию максимального значения выходного сигнала ступени УС1 или ступени УС2 в область нелинейности подключаемой цепи НЦ1, что гарантируется распределением уровней сигнала между ступенями устройства. Нелинейная цепь НЦ1 имеет несколько перестраиваемых плавно и (или) дискретно элементов, доступ к которым обеспечивается конструкцией лицевой панели устройства.

Первый блок индикации настройки БИН1 предоставляет визуальный контроль достижения заданного уровня сигнала на выходе аттенюатора АТТ1, а значит на входе ступени УС1. Далее сигнал поступает на корректирующую ступень КС, степень инерционности которой можно регулировать плавно и (или) дискретно с помощью органов регулировки, вынесенных на лицевую панель устройства. С выхода корректирующей ступени КС сигнал поступает на вторую ступень УС2, к выходу которой для имитации искажений может быть подключена первая цепь НЦ1 с помощью перевода двухпозиционного переключателя П1 в положение «2». Вторая цепь НЦ2 может подключаться к её выходу с помощью выключателя В2 и вносить регулируемые с помощью перестраиваемых элементов искажения типа «центральная отсечка».

Устройство имитирует усилитель, обладающий определённым коэффициентом усиления. Глубина общей ООС составляет 60 дБ. Общий коэффициент усиления канала прямого усиления составляет величину 40000:

- коэффициент усиления УС1 400;
- коэффициент усиления КС 10;
- коэффициент усиления УС2 10.

Для удобства эксплуатации устройства в составе измерительной установки или в тракте звуковоспроизведения требуется внесение затухания в его выходной сигнал такой степени, которая обеспечит равенство значений сигналов на входе и выходе устройства. Именно второй аттенюатор АТТ2 обеспечивает выравнивание уровней сигналов на входе и выходе устройства, что позволит при работе с устройством не вносить изменения в уровень сигнала в точке подключения устройства. Вторым аттенюатором АТТ2 изменяется степень вносимого затухания в выходной сигнал устройства под воздействием подаваемого на его вход управления сигнала, вырабатываемого блоком БС, которым также управляется и первый аттенюатор АТТ1. Вторым блоком индикации настройки БИН2 обеспечивается визуальный контроль достижения равенства сигналов на входе и выходе устройства.

Ручная настройка, осуществляемая с помощью перестраиваемых элементов блока ручного управления БРУ, может использоваться при работе с сигналами аудиопрограмм или в других случаях, если этого требуют какие-либо обстоятельства или соображения. Переход на ручное управление осуществляется переводом второго двухпозиционного переключателя П2 в альтернативную позицию. В этом случае о правильности настройки устройства можно судить по показаниям индикатора уровня ИУ, указатель которого должен нахо-

даться в рабочем секторе шкалы индикатора, что достигается ручной настройкой блока БРУ. Глубина и диапазон частотной коррекции, степень вносимых искажений подбирались после макетирования имитатора в ходе субъективных экспериментов.

Основные технические данные имитатора

- Диапазон входных напряжений, В..... 0,15–1,5;
- Входное сопротивление, кОм..... 50;
- Выходное сопротивление, кОм..... 1;
- Нижняя граничная частота, Гц..... 20;
- Верхняя граничная частота, Гц..... var;
- Неравномерность частотной характеристики, дБ..... ±2;
- Виды нелинейности:
 1. Регулируемая нелинейность УС1:
 - 1.1. Мягкое симметричное ограничение.
 - 1.2. Жёсткое симметричное ограничение.
 - 1.3. Мягкое несимметричное ограничение.
 - 1.4. Жёсткое несимметричное ограничение.
 2. Регулируемая нелинейность УС2:
 - 2.1. Мягкое симметричное ограничение.
 - 2.2. Жёсткое симметричное ограничение.
 - 2.3. Мягкое несимметричное ограничение.
 - 2.4. Жёсткое несимметричное ограничение.
 - 2.5. Центральная отсечка.
- Погрешность регулирования..... 10%;
- Габаритные размеры, мм..... 240x110x300.

Имитатор имеет широкие функциональные возможности, универсален по отношению к уровням сигналов внешних устройств за счёт работы в широком диапазоне значений входного сигнала при обеспечении равенства значений входного и выходного сигналов. Устройство обладает как автоматическим, так и ручным способами управления настройками.

Применение имитатора

Разработанное устройство предназначено для технического обеспечения звукотехнических измерительных процедур, выполняемых в рамках НИР и учебного процесса. В частности, прибор может быть использован в учебном процессе кафедр факультета технологий кино и телевидения СПбГУКиТ для изучения вопросов визуального наблюдения и количественной оценки нелинейных искажений различных видов, что важно для обучения профессии инженера-исследователя, инженера-разработчика, инженера-специалиста по аудиоаппаратуре. К тому же, прибор может быть использован для изучения вопросов звукового восприятия нелинейных искажений различных видов при воспроизведении реальных вещательных сигналов, что особенно важно при подготовке звукорежиссёров и звукооператоров кино и телевидения, аудиостудий и зрелищных предприятий.

Возможные области применения имитатора можно разбить на две условные сферы деятельности в рамках учебного процесса: лабораторные работы, выполняе-

мые в ходе изучения различных дисциплин, и научно-исследовательские работы, выполняемые при изучении дисциплин специализации кафедр, а также студентами, обучающимися в магистратуре. Также одной из важных задач подготовки специалистов и магистров в области аудиовизуальной техники является получение знаний и навыков организации и проведения субъективных экспертиз оценки качества звучания звукотехнического оборудования, музыкальных и речевых программ теле- и радиовещания.

Тематика возможных работ с использованием прибора весьма обширна, среди которых:

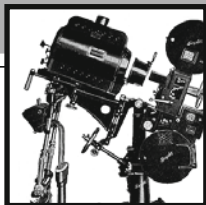
- Исследование влияния различных видов нелинейных искажений на субъективное восприятие измерения тембра, звучания музыкальных инструментов, звуков, голосов.
- Исследование взаимосвязи субъективного восприятия нелинейных искажений и объективных данных измерений, производимых различными методами.
- Исследование взаимосвязи визуального и слухового восприятия различных видов нелинейных искажений.
- Исследование чувствительности стандартных и вновь предлагаемых методов измерения амплитудной нелинейности звукотехнической аппаратуры к различным видам нелинейных искажений.

Заключение

В период дальнейшего развития зрелищной индустрии, кинематографа, звукозаписи, шоу-бизнеса особую актуальность приобретают вопросы оценки технического уровня аппаратуры, творческих и социально-экономических последствий внедрения новой техники на концертных площадках, киностудиях и студиях звукозаписи. Выработка чётких и обоснованных требований к качественным показателям аппаратуры должна максимально отвечать потребностям медиарынка. Частичному решению этого вопроса может способствовать применение технического средства, имитирующего наиболее типичные для звукотехнической аппаратуры виды нелинейных искажений сигнала, существенным образом влияющих на качество звукопередачи. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Феклистов А., Клопов В. О влиянии динамических искажений на восприятие тембра. Радио, № 7–8, 1981.
2. Otala M., Ensomar R. Transient Intertodulation Distortion in commercial audio amplifiers. JAES, № 4, 1974.
3. Патент на изобретение 2454676 (RU 2 454 676 C2) Российская Федерация, МПК G 01R 23/20 (2006.01). Устройство для имитации нелинейных искажений электрического сигнала [Текст] / Тихонова Л.С.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения. – № 2010139741/28, 27.09.2010. Опубликовано: 27.06.2012, Бюллетень № 18.



Искажения пространственных образов в стереокино: ИЛЛЮЗИИ УМЕНЬШЕНИЯ, УВЕЛИЧЕНИЯ И УПЛОЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ



С.Н. Рожков, ОАО «НИКФИ», Г.И. Рожкова, ИППИ им. Харкевича РАН РФ

Аннотация

Рассмотрены следующие вопросы:

- причины возникновения эффектов кулисности, миниатюризации и гигантизма;
- влияние бинокулярных и монокулярных факторов пространственного зрения на восприятие объёмно-пространственной картины в естественных условиях и в условиях кинозала;
- нарушения восприятия размеров объектов и расстояний до них при противоречиях между отдельными бинокулярными и монокулярными факторами пространственного зрения.

Ключевые слова: стереоизображение, условия стереонаблюдения, условия стереосъёмки, эффект кулисности, эффект гигантизма, эффект миниатюризации.

DISTORTIONS OF SPATIAL IMAGES IN STEREO MOVIES: ILLUSIONS OF OBJECT DIMINUTION, ENLARGEMENT AND FLATTENING

Rozhkov S.N., Rozhkova G.I.

Abstract

The following issues are considered:

- *The causes of cardboard effect and the effects of miniaturization and giantism;*
- *The influence of monocular and binocular factors of spatial vision on perception of three-dimensional scenes in natural conditions and in movie theater;*
- *Distortions in perception of the object size and distance due to the conflicts between some binocular and monocular factors of spatial vision.*

Keywords: *stereoimage; conditions of viewing stereo-images; stereoshooting conditions; cardboard effect; giantism; puppet effect*

■ В процессе зрительного восприятия формирование представлений о расстояниях до объектов, их рельефности и размерах происходит на основе действия как монокулярных, так и бинокулярных механизмов пространственного зрения. В реальных условиях человек

не пытается анализировать, какие именно факторы пространственного зрения преобладают в процессе восприятия, и воспринимает рельефность объектов и их взаимное расположение в соответствии со степенью интегрального воздействия всех факторов. При

просмотре обычных плоскостных кинофильмов объёмно-пространственная картина воспринимается исключительно на основе совокупности монокулярных факторов, которые использовал оператор в процессе съёмки. В стереокинозал зритель приходит, чтобы увидеть зрелище, более эффектное по сравнению с обычным фильмом и в то же время более приближённое к естественной картине за счет возможности привлечь в дополнение к монокулярным бинокулярные факторы пространственного зрения. И он, зритель, очень болезненно (иногда в переносном, а иногда и в прямом смысле) реагирует на искажения стереоизображения, даже если они не вызывают физиологического дискомфорта.

Подобные искажения в стереофильме возникают в ряде случаев из-за того, что для подчёркивания рельефности и многоплановости пространственной картины оператор использует приёмы, которые эффективны в плоскостном кино, но не годятся для стереокиноизображения. В стереофильме результаты их применения могут оказаться нежелательными, а иногда неожиданными. В частности, это приводит к возникновению эффектов кулисности, миниатюризации и гигантизма, которые снижают качество и адекватность воспринимаемых пространственных картин. Напомним суть этих эффектов.

Эффект кулисности

Хорошо известно, что на театральной сцене для имитации естественных пространственных ситуаций используют не только реальные объекты или их трёхмерные муляжи, но и плоские части декорации, называемые кулисами. При этом объекты на кулисах стараются изображать так, чтобы создавалось впечатление их объёмности, и зрители принимают эту условность, хотя обычно и сохраняют способность отличить плоский рисунок на кулисе от объёмного предмета. Но когда в стереоизображении зрители видят плоские образы рельефных объектов, расположенные в пространстве друг за другом, они ощущают дискомфорт и такую условность не принимают, если это не использовано целенаправленно как художественный приём.

В стереоскопии эффект кулисности связывают с нежелательным кажущимся уплощением отдельных (как правило, знакомых) объектов в виртуальной пространственной картине из-за несоответствия в оценках протяжённости объекта в направлении съёмки и его фронтальных размеров. Основной причиной такого несоответствия являются противоречия между отдельными бинокулярными и монокулярными факторами пространственного зрения, которые возникают при определённых сочетаниях параметров стереосъёмки [14, 15], а также при выборе стереопараметров, задаваемых в процессах компьютерного синтеза стереоизображения и конвертации плоскостных фильмов в стереоформат. В определённой степени на возникновение эффекта влия-

ют также условия предъявления изображений стереопары. [2; 4; 10–15]. Естественно, что исторически эффект кулисности был сначала обнаружен и исследован на стереофотографиях [4].

Механизмы работы зрительной системы изучены далеко не полностью. Особенности восприятия объектов в пространстве зависят от совокупности большого числа различных внешних факторов, а также от индивидуальных способностей и опыта наблюдателя. При этом необходимо учитывать, что мозг корректирует информацию, поступающую от глаз. Например, при акцентировании внимания на участках объекта, близких к точке фиксации взора, мозг отключает восприятие более дальних и более близких объектов, которые двоятся, если расположены за пределами зоны стереоскопической глубины [5; 9].

В ряде случаев мозг не может правильно обработать слишком малые различия в информации, поступающей от левого и правого глаза в бинокулярные подсистемы зрительного анализа, и производит оценку пространственной ситуации на основе только монокулярных факторов. В частности, это происходит, когда приходится оценивать рельефность объектов на расстояниях, близких по величине к радиусу стереоскопического зрения. Если с достаточно большого расстояния рассматривать расположенные рядом две фигуры, живого человека и хорошо изготовленного плоского двойника, они могут оказаться неразличимыми и восприниматься одинаково. Этим пользуется, например, ГИБДД, устанавливая на обочинах «картонных» сотрудников автоинспекции, воспринимаемых издали водителями как рельефных, настоящих. Подобный эффект можно назвать эффектом антикулисности. Таков в данном случае результат работы мозга, получающего недостаточную информацию от глаз.

Воспринимаемая рельефность наблюдаемого объекта зависит от расстояния до него и от числа опорных плоскостей на участке пространства, ограниченном протяжённостью объекта по направлению взора [3]. Это число можно определить по формуле:

$$N_{L_1}^{L_2} = \frac{B_v}{\Delta\alpha_0} \left(\frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2} \right), \quad (1)$$

где: $N_{L_1}^{L_2}$ – число опорных плоскостей в заданном отрезке по направлению взора,

B_v – базис зрения,

$\Delta\alpha_0$ – порог стереоскопического зрения в радианах,

L_1, L_2 – расстояния от наблюдателя до ближней и дальней границ объекта.

Величина порога стереозрения индивидуальна для различных наблюдателей и зависит от условий наблюдения, продолжительности рассматривания и совокупного влияния ряда других факторов. Поэтому выявить однозначные закономерности, определяющие зависимость порога стереозрения от различных сочетаний всех этих факторов, как для естественных условий,

так и для условий кинозала, очень сложно. Соответственно, невозможно выбрать и принять одно значение порога, которое годилось бы для анализа стереовосприятия во всех случаях. Для расчётов используют величину порога стереоскопического зрения, равную 30" (0,000145 рад). Расчётный базис зрения принимают равным 65 мм.

В таблице 1 приведены значения, дающие представление об изменении числа опорных плоскостей в участках естественного пространства, одинаковых по протяжённости и расположенных на различных расстояниях от наблюдателя.

Табл. 1. Расчётное число опорных плоскостей в отрезке протяженностью 1 м за плоскостью сравнения при разных расстояниях этой плоскости от наблюдателя

Расстояние от наблюдателя до плоскости сравнения, м	1,5	3,0	6,0	12,0
Число опорных плоскостей в заданном отрезке	120	37	11	3

Если связывать воспринимаемую степень рельефности с числом стереоскопически различаемых планов в интервале от передней до задней поверхности объекта, можно сказать, что в воспринимаемом стереоизображении эффект кулисности возникает тогда, когда число таких планов оказывается существенно меньшим, чем при наблюдении объекта в сходных естественных условиях.

После адаптации зрительной системы к условиям наблюдения в кинозале стереоизображение может восприниматься по-разному – как близким к естественной пространственной картине, так и сильно отличающимся от нее. В естественных условиях оценка рельефности значительно удалённых объектов на основе только монокулярных факторов дискомфорта не вызывает. Но при рассматривании стереоизображений многоплановых сцен, снятых длиннофокусной оптикой с малым базисом стереосъёмки, зритель может ощутить дискомфорт. Длиннофокусная оптика позволяет сильно увеличивать удалённые объекты, и они оказываются представленными на стереопаре в большом масштабе. В то же время при такой съёмке диапазон параллаксов в сопряжённых изображениях каждого из объектов невелик. И если этот диапазон слишком мал, возникнет эффект кулисности: стереоизображения объектов будут восприниматься хотя и разноудалёнными, но плоскими, словно вырезанными из картона.

Возникновение этого эффекта во многом определяется числом стереоскопически разрешаемых планов, зафиксированных в стереопаре при съёмке ограниченного по глубине участка пространства. Число таких планов зависит от базиса стереосъёмки, дистанций съёмки до границ участка и разрешающей способности съёмочных объективов [3]:

$$N_{L_1}^{L_2} = \frac{B}{\psi} \left(\frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2} \right), \quad (2)$$

где: $N_{L_1}^{L_2}$ – число стереоскопически разрешаемых планов, зафиксированных в стереопаре, для заданной протяжённости участка пространства,

B – базис стереосъёмки,

ψ – угловая разрешающая способность съёмочных объективов,

L_1 и L_2 – дистанции съёмки до ближней и дальней границ участка пространства.

Рассмотрим в качестве примера ожидаемые результаты стереосъёмки объективами с фокусными расстояниями 35, 100 и 250 мм. Размеры кадра стереопары выбраны равными 25×18,2 мм, как это принято в системе «Сtereo-70». Базис стереосъёмки 25 мм.

Для всех трёх вариантов высота картинной плоскости в пространстве стереосъёмки выбрана равной 780 мм, что соответствует поясному плану человека. Передняя часть объекта для каждого из вариантов расположена в плоскости рампы, соответствующей плоскости нулевых параллаксов на экране. Дистанции рампы для каждого из фокусных расстояний рассчитаны на основе формул для определения размеров картинной плоскости [6].

Глубину фиксируемых участков пространства для всех трёх случаев примем равной 1 м. Для сравнения используем в расчётах две величины угловой разрешающей способности съёмочных объективов: $\psi = 30''$ и $\psi = 10''$.

Оценку ожидаемых результатов съёмки можно осуществить, зная диапазоны горизонтальных параллаксов, в пределах которых зафиксированы участки пространства. Так как передние границы участков расположены в плоскости рампы и зафиксированы с нулевым параллаксом, требуется определить только параллаксы удалённых точек, которые рассчитываются по формуле [1]:

$$p = \frac{Bf(L-L_R)}{LL_R}, \quad (3)$$

где: p – параллакс удалённой точки,

B – базис стереосъёмки,

f – фокусное расстояние съёмочной оптики,

L_R – дистанция рампы,

L – дистанция до удалённой точки.

Расчётная ширина экрана принята равной 6,5 м, дистанция рассматривания стереоизображения на экране – 8 м, порог стереозрения в условиях кинозала считаем равным 30".

Исходные данные и результаты расчётов для трёх выбранных вариантов сведены в таблицу 2.

Из таблицы видно, что число стереоскопически различаемых планов, снятых короткофокусной оптикой ($f = 35$ мм), определяется в первую очередь порогом стереоскопического зрения в условиях кинозала, а снятых длиннофокусными объективами ($f = 100$ и $f = 250$ мм) без увеличения базиса стереосъёмки – диапазоном параллаксов в стереопаре и разрешающей способностью съёмочной оптики. Эти два параметра являются

Табл. 2. Число стереоскопически различаемых планов в зависимости от фокусного расстояния и разрешающей способности стереооптики для съёмочных планов одинаковой крупности при одинаковых диапазонах дистанций съёмки

№	Параметр	Значение параметра			
1	Фокусное расстояние съёмочной стереооптики, мм	35	100	250	
2	Дистанция съёмки до выбранной плоскости рампы, м	1,5	4,3	10,7	
3	Диапазон горизонтальных параллаксов, мм, в стереопаре на фоторегистраторе при съёмочном интервале расстояний 1 м	0,23	0,06	0,05	
4	Диапазон параллаксов на экране расчётной ширины	в линейных величинах, мм	60	16	13
		в угловых минутах (при расстоянии от зрителя до экрана 8 м)	26'	7'	6'
5	Число стереоскопически разрешаемых планов в границах диапазона горизонтальных параллаксов на плоскости фоторегистратора для двух значений разрешающей способности съёмочной оптики	$\psi = 30''$	46	8	1,4
		$\psi = 10''$	138	24	4,2
6	Максимальное число стереоскопически различаемых планов на экране с расстояния 8 м в диапазоне параллаксов, формируемом съёмочной стереооптикой	52	14	12	
7	Число стереоскопически различаемых планов на экране в сформированном диапазоне параллаксов при двух значениях разрешающей способности съёмочной оптики	$\psi = 30''$	46	8	1,4
		$\psi = 10''$	52	14	4,2

определяющими для условий возникновения эффекта кулисности.

В реальных условиях уменьшение действия бинокулярных факторов и ослабление ощущения рельефности происходит при одновременном увеличении расстояния до наблюдаемого объекта и уменьшении его угловых размеров. И наоборот, в случае сокращения расстояния до объекта происходит одновременное увеличение его угловых размеров и диапазона бинокулярных параллаксов, что увеличивает воздействие бинокулярных факторов и усиливает ощущение рельефности.

По сравнению с результатами стереосъёмки оптикой с нормальным фокусным расстоянием, в стереопаре объекта, снятого в том же масштабе длиннофокусной стереооптикой и с близким по величине базисом стереосъёмки, диапазон параллаксов существенно снижен. Соответственно уменьшенным оказывается и диапазон параллаксов в стереопаре этого объекта на сетчатках глаз. Воспринимаемая степень рельефности образа объекта снижается, создаётся иллюзия его уплощения.

Схема формирования факторов, обуславливающих возникновение эффекта кулисности, представлена на рис.1.

В естественных условиях эффект кулисности также может иметь место. Наиболее наглядный пример – рассматривание двух разноудалённых одинаковых объектов в бинокль с большой кратностью увеличения и с прямым

ходом световых лучей. В таких условиях дальний объект кажется более плоским, чем ближний. Чтобы понять, почему так получается, нужно сравнить рельефность пары объектов при наблюдении их в бинокль и без бинокля.

При обычном наблюдении реальных объектов с их удалением от наблюдателя фронтальные размеры этих объектов (ширина и высота) и размер по глубине (толщина) уменьшаются в равной степени обратно пропорционально расстоянию. Использование бинокля приводит к более сильному увеличению фронтальных размеров по сравнению с толщиной, причём такое расхождение нарастает с увеличением расстояния, что способствует возникновению эффекта кулисности.

Эффекты миниатюризации и гигантизма

В отличие от эффекта кулисности, выражающегося в уплощении объёмной формы объектов и сокращении воспринимаемой протяжённости пространственной картины, эффекты миниатюризации и гигантизма – это специфические нарушения в восприятии всех линейных размеров объектов в стереоизображении. Знакомые объекты могут восприниматься неестественно уменьшенными (обычные люди, например, могут выглядеть карликами) или увеличенными, что, как правило, приводит к психологическому дискомфорту.

Воспринимаемые зрительные образы незнакомых объектов независимо от их величины обычно дискомфорта не вызывают, но составить представление об их реальных размерах не представляется возможным, если в непосредственной близости от них не находятся известные объекты.

Размеры изображения объекта на экране определяются дистанцией съёмки, фокусным расстоянием объектива, размерами изображений стереопары на фоторегистраторе и коэффициентом проекционного увеличения. Воспринимаемое виртуальное расстояние до изображения объекта определяется бинокулярным параллаксом, формируемым величиной горизонтального параллакса в экранной стереопаре, и целым рядом монокуляр-

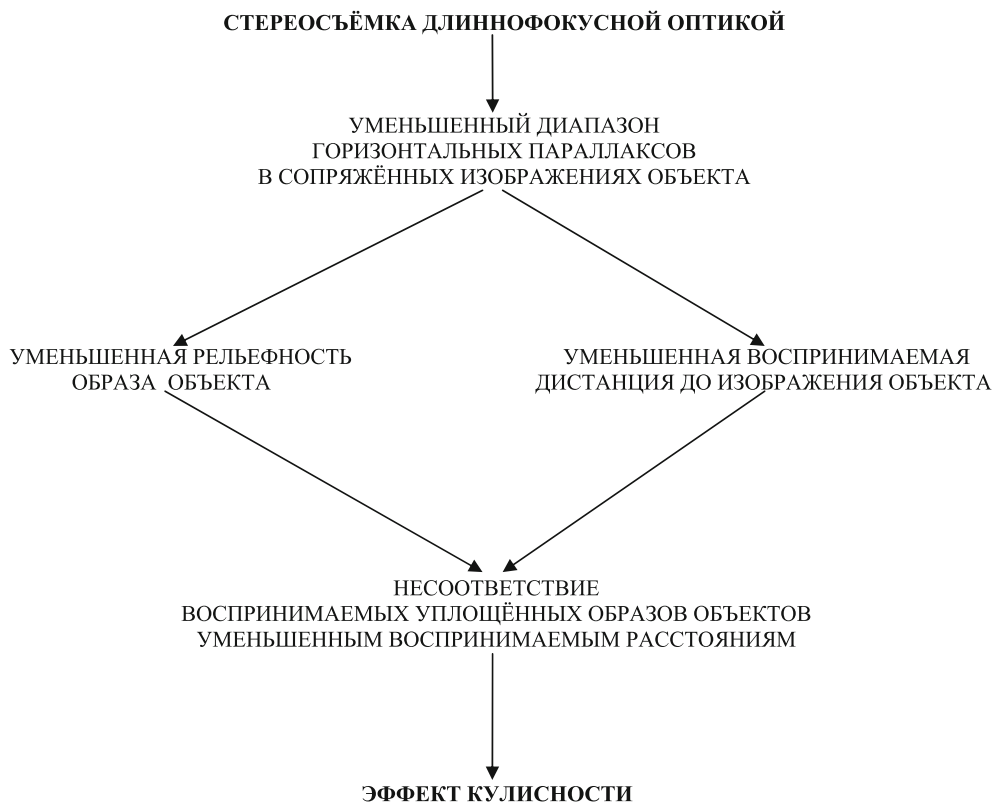


Рис. 1. Формирование эффекта кулисности при съёмке длиннофокусной оптикой с недостаточной величиной базиса стереосъёмки

ных факторов пространственного зрения, которые при определённых условиях вступают в противоречие, искажая воспринимаемую пространственную картину. В идеальном случае для адекватного восприятия объектов одинаковой величины воспринимаемые расстояния до них должны быть обратно пропорциональны изображениям объектов на экране. Однако это условие не всегда соблюдается, т.е. иногда возникают «противоречия» между признаками, определяющими видимые размеры и расстояния. В литературе давно отмечалась возможность противоречий между монокулярными признаками, такими как перспективные преобразования, и бинокулярными признаками, основанными на параллаксе. На самом деле, значительные искажения пространственных соотношений возможны даже в тех случаях, когда зритель использует только бинокулярный параллакс, что можно показать соответствующими расчётами. Для примера на рис. 2 приведен график из работы [15], показывающий расчётные соотношения между расстоянием до объекта съёмки и воспринимаемым расстоянием до стереоизображения этого объекта, вычисленным для разных условий съёмки на основе экранных параллаксов. Только в одном случае, соответствующем прямой линии, имеет место пропорциональность между физическими и воспринимаемыми расстояниями, которая обеспечивает правильное восприятие пространственных соотношений и размеров. Во всех остальных случаях нелинейные зависимости должны приводить к не-

дооценке или переоценке расстояний и размеров. Например, в ситуации, соответствующей кривой 3, расстояния, попадающие в диапазон левее точки пересечения с прямой, должны преувеличиваться, а правее – преуменьшаться. Это должно приводить к кажущемуся различию в величине близких и удалённых объектов одинакового размера, что при достаточной степени различия может выражаться в появлении эффектов миниатюризации или гигантизма. Который из двух объектов будет восприниматься «нормальным», а который – уменьшенным (эффект миниатюризации) или увеличенным (эффект гигантизма), зависит от сочетания всех условий, определяющих

особенности пространственного восприятия данного стереоизображения.

Существенное влияние на величину воспринимаемого расстояния до изображения объектов оказывает обрамление экрана, выполняющее функцию «стереоокна». Реальное расстояние до экрана воспринимается привычно и адекватно, но расстояния до отдельных объектов могут как недооцениваться, так и переоцениваться. А это означает, что их воспринимаемые размеры также могут оказаться искаженными. Если объект один, то расстояние до него произвольно сравнивается с реальным расстоянием до экрана и может восприниматься неадекватно, что скажется на оценке размеров.

Обратим внимание ещё на один фактор, влияющий на восприятие размера объектов. Рассматривая анфас лицо реального человека, мы при этом видим и его уши. Но каждым глазом мы обычно только одно ухо видим полностью, а второе – лишь частично, поскольку его загоразживает щека. А если рассматривать с такого же расстояния голову небольшой куклы, то каждым из глаз можно одновременно видеть и голову, и оба уха целиком. Такого рода «бинокулярный охват» можно рассматривать как дополнительный зрительный инструмент оценки размера. Этот инструмент существенно влияет на оценку размеров стереоизображений объектов, зафиксированных с небольшого расстояния с увеличенным или уменьшенным базисом стереосъёмки. Увеличение базиса увеличивает бинокулярный охват, а уменьшение базиса

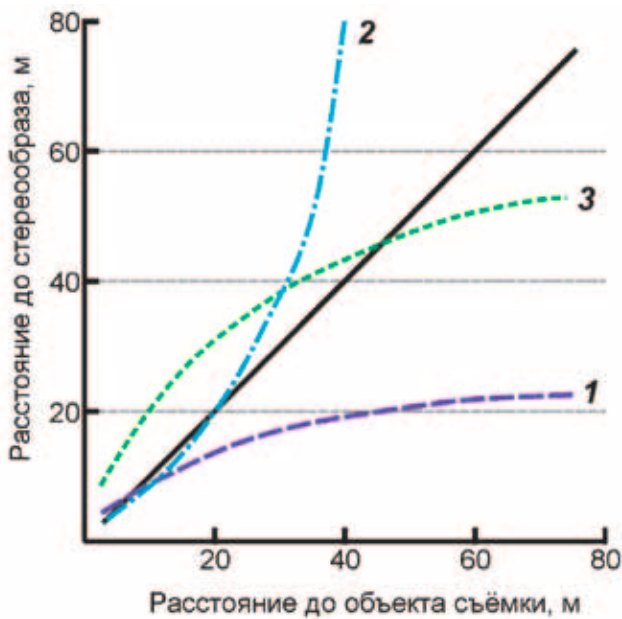


Рис. 2. Расчётные соотношения между физическим расстоянием до объекта съёмки и воспринимаемым на основе параллакса расстоянием до стереоизображений этого объекта при наблюдении стереопар, полученных при различных параметрах съёмки на конвергентных осях (по данным японских авторов [15]). *Сплошная прямая линия*: базис стереосъёмки 65 мм, угол поля изображения объективов $33,4^\circ$, расстояние до точки конвергенции оптических осей 4,5 м, расстояние от зрителя до экрана 4,5 м, горизонтальный угол поля наблюдаемого изображения $33,4^\circ$; *кривая 1*: базис стереосъёмки 65 мм, угол поля изображения объективов $43,6^\circ$, расстояние до точки конвергенции оптических осей 4,0 м, расстояние от зрителя до экрана 4,5 м, горизонтальный угол поля наблюдаемого изображения $33,4^\circ$; *кривая 2*: базис стереосъёмки 130 мм, угол поля изображения объективов $43,6^\circ$, расстояние до точки конвергенции оптических осей 6,1 м, расстояние от зрителя до экрана 4,5 м, горизонтальный угол поля наблюдаемого изображения $33,4^\circ$; *кривая 3*: базис стереосъёмки 32,5 мм, угол поля изображения объективов $43,6^\circ$, расстояние до точки конвергенции оптических осей 1,8 м, расстояние от зрителя до экрана 4,5 м, горизонтальный угол поля наблюдаемого изображения $33,4^\circ$

его уменьшает. Если в обоих случаях фронтальная часть объекта сформирована и отображена с идентичными горизонтальными параллаксами, близкими к нулевому, то в первом случае изображение будет восприниматься уменьшенным (эффект миниатюризации), а во втором — увеличенным (эффект гигантизма).

Так как на суждение о размерах оказывает влияние большое количество факторов, то при учёте только части из них невозможно однозначно определить, размер которого из двух экранных объектов будет восприниматься «нормальным», а которого — искажённым.

В естественных условиях размеры изображений одинаковых объектов на сетчатке глаза обратно пропорциональны расстояниям до них, а в условиях стереокинотеатра соотношения между воспринимаемыми размерами и расстояниями могут оказаться существенно иными. Главной причиной нарушения этих пропорций являются особенности стереосъёмки. Например, увеличение базиса стереосъёмки однозначно связано с пропорциональным увеличением основной дистанции рампы¹. А это значит, что удалённые объекты фиксируются в стереопаре либо с уменьшенными положительными параллаксами, либо с нулевым, либо с отрицательными параллаксами. В стереоизображении они воспринимаются ближе, что не коррелирует с их уменьшенными размерами. Биноклярные и монокулярные факторы вступают в противоречие, которое мозг не в состоянии устранить. Это легко проверить, если оценить картину на основе только монокулярных факторов, рассматривая обоими глазами один ракурс стереопары через идентичные (левые или правые) светофильтры двух стереоочков. Если моноизображение воспринимается комфортно, а стереоизображение вызывает ощущение дискомфорта, значит, указанное противоречие имеет место.

Эффект миниатюризации проявляется наиболее сильно, если при увеличенном базисе стереосъёмки использовалась короткофокусная оптика. В этом случае с увеличением расстояния до объекта уменьшение воспринимаемых размеров объекта более значительно по сравнению с оптикой нормального фокусного расстояния. Но уменьшенные объекты воспринимаются нормально только на соответственно большем расстоянии. Эффект можно несколько ослабить, если увеличить положительный параллакс в стереопаре. А это не всегда возможно, так как изображения объектов на экране обычно больше их естественных размеров в несколько раз. Во столько же раз больше диапазон экранных параллаксов, предельное расчётное значение которого равно базису зрения. Кроме того, если увеличивать положительные параллаксы в заэкранном пространстве путём взаимного смещения кадров стереопары, нарушается построение общей пространственной картины. Поэтому привести к полному соответствию действие биноклярных и монокулярных факторов, обусловленных параметрами стереосъёмки или изменением диапазона параллаксов в постобработке стереоизображения, в большинстве случаев нереально.

При анализе условий возникновения эффекта миниатюризации довольно сложно учесть такой фактор, как адаптация зрительной системы к увеличенным размерам изображений объектов на экране по отношению к реаль-

¹ Основная дистанция рампы — съёмочное расстояние до плоскости нулевых параллаксов в снимаемой сцене, при котором величина параллакса бесконечности на экране расчётных размеров равна расчётной величине базиса зрения [7].

ным. Такая адаптация происходит довольно быстро и не замечается. После сеанса мозг переадаптирует зрительную систему к естественной реальной картине. Но не мгновенно. На это специально можно обратить внимание сразу после окончания сеанса обычного плоскостного фильма в кинозале с большим экраном. Если после сеанса перед экраном появляется человек, то легко заметить, что в первые мгновения он воспринимается миниатюрным. Это своего рода эффект миниатюризации реальных объектов, причиной которого является недостаточно быстрый процесс переадаптации: зритель только что видел

изображения увеличенных в несколько раз людей и воспринимал их как обычных, т.е. нормального роста, поэтому, пока не завершилась переадаптация, люди реальные кажутся уменьшенными.

Практика показала, что стереоизображения объектов воспринимаются в кинозале естественными, если базис стереосъёмки уменьшен примерно в два с половиной – три раза по отношению к средней величине базиса зрения человека, а линейные размеры изображений на экране увеличены в такое же число раз. Ширина экрана, положенная в основу расчёта параметров стереосъёмки, как уже отмечалось выше, составляет 6,5 м. Однако резервы зрительной системы и возможности адаптации позволяют воспринимать стереоизображение естественным на экранах значительно больших размеров (шириной до 25 м) без зрительного дискомфорта [5].

Эффект миниатюризации может возникать и в естественных условиях при искусственном увеличении базиса наблюдения, например, при рассмотривании удалённых объектов в призмный бинокль либо в стереотрубу².

Схема формирования основных факторов, обуславливающих возникновение эффекта миниатюризации, представлена на рис. 3.

Эффект гигантизма – восприятие изображения объекта чрезмерно увеличенным. Эффект может возникать при нормальном и уменьшенном базисе стереосъёмки, если



Рис. 3. Схема формирования основных факторов, обуславливающих возникновение эффекта миниатюризации

средние и крупные планы зафиксированы с уменьшенной дистанцией рамп. В этом случае воспринимаемая дистанция до объекта возрастает при сохранении его линейных размеров. И если это знакомый объект, то он воспринимается увеличенным. Как и в случае эффекта миниатюризации, здесь налицо нарушение пропорциональности между угловыми размерами объекта, задаваемыми экранным изображением, и воспринимаемым расстоянием.

Схема формирования основных факторов, обуславливающих возникновение эффекта гигантизма в описанной ситуации, представлена на рис. 4.

Однако если суммировать разные ситуации, приводящие к эффектам миниатюризации и гигантизма, следует подчеркнуть, что такие эффекты могут возникать из-за противоречивости или значительного расхождения результатов оценки размеров и расстояний, получаемых на выходе различных параллельных механизмов обработки зрительной информации, как монокулярных, так и бинокулярных.

Заключение

1. Общей основной причиной возникновения эффектов кулисности, миниатюризации и гигантизма являются противоречия между отдельными бинокулярными и монокулярными факторами пространственного зрения. Причиной этих противоречий являются определённые сочетания параметров стереосъёмки и условий наблюдения стереофильмов.

2. Эффект кулисности возникает при восприятии стереоизображений, снятых длиннофокусной стереооптикой, когда удалённые рельефные объекты оказываются зафиксированными в диапазоне недостаточного числа

² Стереотруба – бинокулярный оптический прибор перископического типа для наблюдения удалённых объектов с гиперстереоскопией [7].



Рис. 4. Схема формирования основных факторов, обуславливающих возникновение эффекта гигантизма

опорных плоскостей. В стереоизображении такие объекты воспринимаются практически плоскими. Эффект можно предотвратить или ослабить, изменяя сочетание параметров стереосъёмки (фокусного расстояния, стереобазиса, дистанции рампы) и применяя приёмы, усиливающие воздействие монокулярных факторов пространственного зрения.

3. Эффект миниатюризации возникает чаще всего при восприятии стереоизображений, снятых короткофокусной оптикой или оптикой с нормальным фокусным рас-

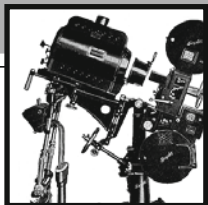
стоянием при увеличенном базисе стереосъёмки. В наибольшей степени эффект ощущается при значительном преумножении воспринимаемого расстояния до рассматриваемых уменьшенных изображений объектов. Возникновение эффекта миниатюризации можно предотвратить или ослабить, если уменьшенные изображения людей (и других объектов с известными размерами) будут зафиксированы в стереопаре с максимально увеличенными, но допустимыми положительными параллаксами и будут вос-

приниматься на максимальном удалении в заэкранном пространстве.

4. Возникновение эффекта гигантизма, обратного по отношению к эффекту миниатюризации, можно предотвратить или ослабить, если увеличенные изображения людей (и других объектов с известными размерами) будут зафиксированы в стереопаре с максимально уменьшенными положительными параллаксами, либо с отрицательными параллаксами для их восприятия в предэкранном пространстве. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтянский А.Г. Расчеты параметров стереокино и фотосъёмки для проекции на экран. Техника кино и телевидения, № 5, 1957.
2. Валуев Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962, 379 с.
3. Валуев Н.А. Стереоскопия: Фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986, 263 с.
4. Иванов Б.Т., Левингтон А.Л. Стереоскопическая фотография. М.: Искусство, 1959. 96 с.
5. Комар В.Г., Рожков С.Н., Чекалин Д.Г. Необходимость нормирования параметров стереопары и стереопроекции с целью снижения зрительного дискомфорта в условиях кинозала. МТК, № 24, с. 31–44, 2012.
6. Гордийчук И.Б., Пелль В.Г. Справочник кинооператора. М.: Искусство, 1979, 439 с.
7. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003, 135 с.
8. Рожков С.Н., Рожкова Г.И. Эффекты кулиسنости и миниатюризации в стереокино: причины их возникновения и возможности устранения. Научно-техническая конференция, Москва, 18–19 апреля 2013 г.: Материалы и доклады. М.: МКБК, с. 139–153, 2013.
9. Шацкая А.Н. Основы стереофотокиносъёмки. М.: Искусство, 1983, 152 с.
10. Voev A., Hollosi D., Gotchev A., Egiazarian K. Classification and simulation of stereoscopic artifacts in mobile 3DTV content // Proc. SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE. Vol. 7237 72371F-1, 2009.
11. Devernay F., Beardsley P. Stereoscopic Cinema. Image & Geometry for 3D Cinematography. Berlin, Springer-Verlag, 2010.
12. MacAdam D.L. Stereoscopic perceptions of size, shape, distance and direction // SMPTE J. Vol. 62. Part I. P. 271–293, 1954.
13. Howard I.P., Rogers B.J. Binocular vision and Stereopsis. Oxford Univ. Press, NY, Oxford, 1995.
14. Yamanoue H., Okui M., Yuyama I. A study on the relationship between shooting conditions and cardboard effect of stereoscopic images // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video technology. Vol. 10. No 3. P. 411–416, 2000.
15. Yamanoue H., Okui M., Okano F. Geometrical analysis of puppet-theater and cardboard effects in stereoscopic HDTV images // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video technology. Vol. 16. No 6. P. 744–752, 2006.



Решения и проблемы СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА для диагностики оборудования кинотеатральных объектов

Д.В. Ляпцев,
аспирант,
А.А. Белоусов, д.т.н.,
СПбГУКиТ



Аннотация

Излагаются результаты работы, направленной на повышение надёжности и безопасности объектов киновидеоиндустрии методами технической диагностики. Приводится описание собранной информационно-измерительной системы и краткое описание проведённых с её помощью исследований. Обсуждается возможность создания централизованной сети подобных устройств для управления и мониторинга инженерных систем кинотеатральных объектов.

Ключевые слова: стандарты, техническая диагностика, измерительная система, акселерометр, тепловизор.

■ Актуальность работы по созданию системы мониторинга и диагностики инженерно-технических систем кинотеатрального комплекса обусловлена необходимостью совершенствования подходов к повышению надёжности технических объектов киновидеоиндустрии

THE SOLUTIONS AND PROBLEMS OF CREATION INFORMATION-MEASURING COMPLEX FOR DIAGNOSTICS OF THE EQUIPMENT CINEMA OBJECTS

D. Liaptsev, A. Belousov

Abstract

In this paper we describe a research work which is carried out at the university. The goal of research is to increase reliability and safety of film and video industry using technical diagnostics methods. The paper presents a description of the developed measurement system as well as the results of the research conducted with it. An approach to create the centralized network of similar systems for control and monitoring cinema engineering infrastructure is also discussed.

Keywords: standards, technical diagnostics, measuring system, accelerometer, thermography infrared camera.

для обеспечения безопасности кинозрителей и их качественного обслуживания.

Современный кинотеатральный комплекс – сложный в конструктивном и техническом отношении объект, являющийся местом массового скопления людей, что на-

кладывает определённые требования к обеспечению работы комплекса, как с точки зрения комфорта и безопасности, так и с экономической точки зрения: требования к бесперебойности работы.

В настоящее время ни один объект недвижимости не обходится без сложного инженерно-технического оборудования. Для кинотеатральных объектов его можно разделить по категориям:

- основное (операторская комната): кинопроекторы, кинопроцессоры, коммутаторы, усилители, медиаплееры;

- вспомогательное: электрическое, вентиляционное, сантехническое оборудование;

- оборудование обеспечения контроля и безопасности: противопожарные системы, средства видеонаблюдения, системы контроля доступа, охранные системы.

Существующие нормы: ГОСТы, СНиПы, руководящие документы (РД), своды правил (СП) содержат значительное число правил, ограничений и инструкций по обслуживанию оборудования, зданий и коммуникаций. Перечень национальных стандартов и правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утверждённого 21.06.2010, содержит порядка 90 наименований. Перечень документов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона, утверждённого приказом Ростехрегулирования от 1 июня 2010 года № 2079, содержит порядка 100 наименований.

Например, для разработки средств мониторинга и диагностики электросети кинозала могут быть использованы:

- ГОСТ Р 50571.16–2007. Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания (МЭК 60364–6:2006);

- ГОСТ 8024–90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В;

- РД 34.45–51.300–97. Объём и нормы испытаний электрооборудования.

Мировая практика обеспечения надёжной работоспособности сложных технических объектов показывает целесообразность применения обслуживания по фактическому техническому состоянию, что ставит задачу внедрения непрерывной технической диагностики этих объектов [1]. Перспективным направлением является обеспечение централизованности управления и мониторинга инженерно-технических систем.

Наиболее близка к описанной системе технология «умный дом»\интеллектуальный офис. Под термином «умный дом» обычно понимают интеграцию следующих систем в единую систему управления помещением\зданием\инженерными системами:

- системы освещения, отопления;

- охранно-пожарную сигнализацию, систему контроля доступа;

- сети\связь;

- систему электропитания здания;

- механизацию здания (открытие\закрытие ворот, шлагбаумов);

- централизованное управление аудио-, видеотехникой.

Создание системы управления, мониторинга и диагностики инженерно-технических систем – цель работы, ведущейся в Санкт-Петербургском государственном университете кино и телевидения.

Создание больших, сложных систем логично начинать с создания прототипа будущей системы для проведения предварительных замеров и исследований. Цель исследований на прототипе – определение рабочих характеристик будущей системы, таких, например, как оценка необходимого количества регистрационных каналов, определение подходящих датчиков, диапазонов измерения, определение требований к подсистеме хранения информации, определение областей применения будущей системы. Базовые требования к прототипу – обеспечить возможность параллельного подключения и использования нескольких датчиков, в процессе измерений должна быть возможность в оперативном режиме отображать результаты экспериментов, обеспечивать долгосрочное хранение данных.

Такие исследования требуют привлечения достаточно большого количества специалистов различного профиля: пользователей технических устройств; операторов оборудования; специалистов по ремонтному обслуживанию; специалистов по созданию информационно-управляющих систем; разработчиков программ. Для получения достаточно полной и объективной информации о любом контролируемом объекте необходимо регистрировать эффекты взаимодействия с объектом контроля физических полей различной природы. Например, для кинотеатральных комплексов необходимо одновременно получать информацию с каналов измерения звука (до 24 каналов), температуры (до 10 каналов), частотных параметров вибраций (до 10 каналов на комплекс) и т. д.

Собранная на текущем этапе система имеет структурные и функциональные особенности, обеспечивает сбор и обработку измерительной информации по ряду каналов и строится, ориентируясь на реализацию виброакустических методов диагностирования, для чего в состав датчиков входят:

- микрофоны типа МКЭ-3 (от 1 до 3);

- акселерометры типа ADLX150 (от 1 до 3);

- датчики температуры типа HEL 700–102BAA (от 2 до 5).

Предусматривается возможность подключения дополнительных каналов измерений, таких как анализаторы спектра и т. п. Подсистема датчиков подключается к аналоговому блоку, включающему в себя: блок питания; предварительные усилители сигналов; фильтры; устройство управления.



Рис. 1. Общая схема системы

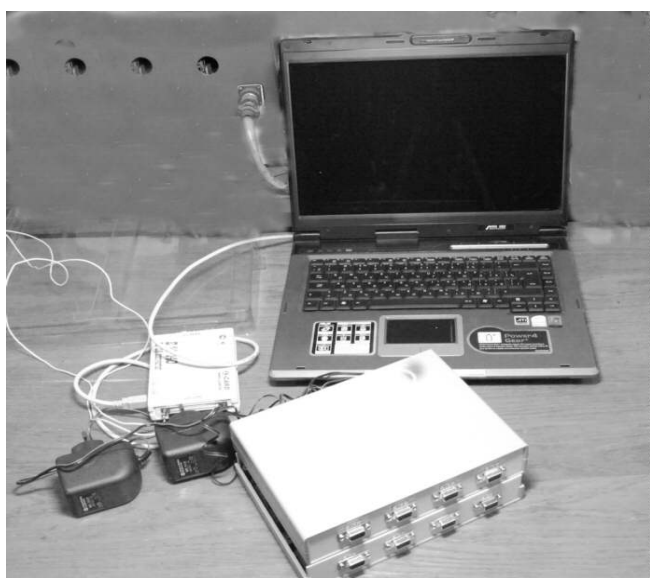


Рис. 2. Компоненты системы



Рис. 3. Вспомогательное операторское оборудование

Общая схема системы сбора и часть его компонент показаны на рис. 1 и 2.

Аналоговый блок подключается к модулю АЦП/ЦАП и цифрового ввода/вывода на шину USB – E14–140 [2]. Модуль E-140 предназначен для построения многоканальных измерительных систем ввода/вывода аналоговых и цифровых данных с использованием персональных компьютеров. Модуль внесён в Госреестр средств измерений, производится фирмой L-Card (г. Москва).

Многоканальный 14-и разрядный АЦП модуля E14–140 позволяет работать с 16-ю дифференциальными или 32-мя каналами с общей землёй. Каж-

дый из аналоговых каналов подключается к АЦП через программно управляемый аттенуатор, позволяющий задавать один из четырёх диапазонов измерения напряжения. Модуль E14–140 обеспечивает непрерывный сбор аналоговых данных на частотах дискретизации АЦП от 0,122 до 100,0 кГц. Цифровой ввод-вывод представлен в виде 16-и входных и 16-и выходных цифровых ТТЛ – совместимых линий. Двухканальный 12-ти разрядный ЦАП позволяет выставлять в асинхронном режиме постоянное напряжение на два независимых канала. Малые габариты модуля (габарит корпуса 129x95x26 мм, масса 250 г) и использование интерфейса USB делают E14–140 удобным для организации измерений в тесных помещениях и требующих высокую степень мобильности. Модуль не включает в себя DSP. Такой выбор обусловлен наличием ряда преимуществ персонального компьютера перед DSP. Модуль E14–140 через USB интерфейс передачи данных подключается к компьютеру, что позволяет получить следующие преимущества:

- возможность накапливать в памяти компьютера статистическую информацию экспериментов;
- on-line и off-line визуализацию результатов экспериментов;
- возможность программной реализации различных методов для обработки данных измерений.

Модульная система диагностического комплекса имеет важные преимущества:

- масштабируемость системы (возможность расширения функционала комплекса за счёт наращивания мощностей или функциональности отдельных блоков, не требующих модификации других);
- простота ремонта и замены неисправных блоков;
- возможность автономной работы каждого блока в составе других систем диагностики.

Далее проведены эксперименты с киновидео- и вспомогательной аппаратурой: исследование механизма

Табл. 1. Значения частот вращения основных элементов МТЛ

Наименование узла	Информационная частота, Гц
Блок вращающихся головок	25,0
Двигатель ведущего вала	16,0
Муфта перемотки	9,75

щим анализом, например, методом сличения полученного спектра вибрации с эталонным спектром вибрации, для диагностирования МТЛ.

Принято участие в нескольких совместных проектах. Так, например, проведена работа по созданию измерительных комплексов для лабораторных работ «Процессы обработки воздуха». В рамках данной работы система сбора была дооснащена датчиками для измерения температуры, давления и относительной влажности

Табл. 2. Перечень датчиков информационно-измерительного комплекса для исследования систем подготовки воздуха

№	Параметры	Тип преобразователя	Наименование	Производитель
1	Температура	Термометр сопротивления	HEL 700-102BAA-B00	Honeywell Inc.
2	Влажность относительная	Датчик ёмкостного типа	НН-4000-004	Honeywell Inc.
3	Перепад давления	Датчик тепловой	AWM92200V	Honeywell Inc.

транспортировки ленты (МТЛ) и вибраций кинокамеры, исследование вспомогательного операторского оборудования (рис. 3) [3, 4].

В таблице 1 приведены значения частот вращения основных элементов МТЛ [3].

Эксперименты показали возможность применения информационно-измерительной системы, оснащённой акселерометрами для сбора информации и последую-

фирмы Honeywell, что позволяет обеспечивать сбор и обработку измерительной информации при проведении исследований на установках кондиционирования воздуха.

Система использована для исследования теплоутилизатора XPXR 04 в составе блочной приточно-вытяжной установки AeroMaster XP 04 фирмы Remak (Чехия) (рис. 4).

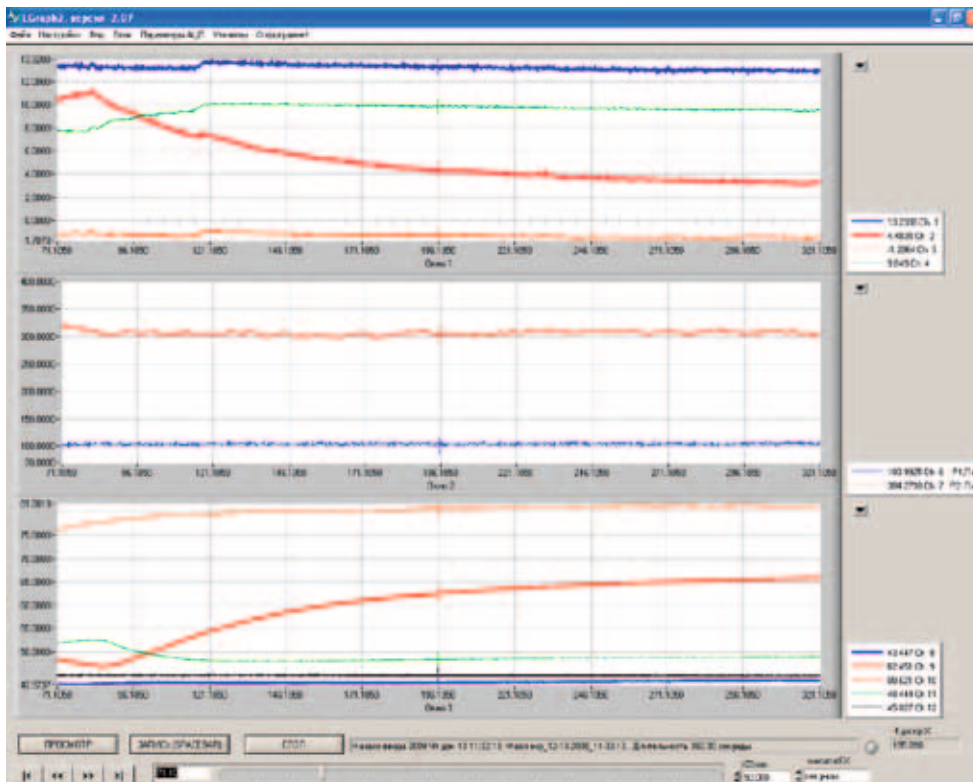


Рис. 4. Изменение параметров воздуха при работе теплоутилизатора системы кондиционирования воздуха фирмы Remak

Участие в работе по применению тепловизионных методов диагностирования техники кинопоказа позволило провести эксперименты по обеспечению мониторинга работы цифрового кинокомплекса, составными частями которого являются: кинопроектор, система вентиляции, блок питания, кинопроцессоры, коммутаторы, усилители, медиаплеер, компьютер (рис. 5).

Дефекты части элементов выявляются с помощью визуального контроля теплотерм. Например, при анализе электрооборудования (блок питания, усилители, сетевые адаптеры, разъёмы) и охлаждения проектора (вентиляция входная, выходная) выявляются тепловые пятна, далее, сравнивая

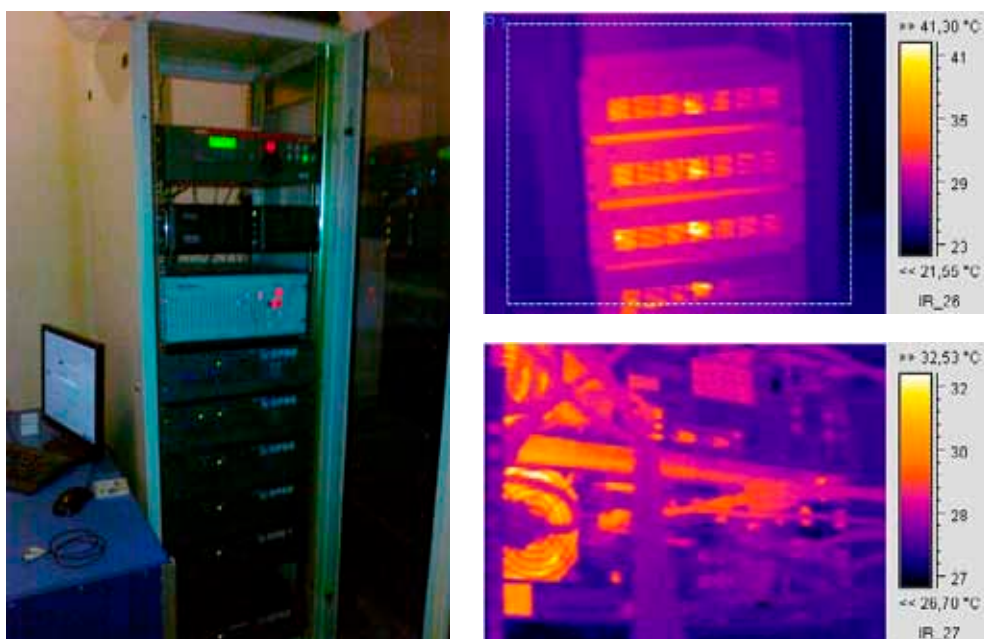


Рис. 5. Кинопроцессор и теплограммы, снятые с переднего и заднего ракурса

максимальную температуру, указанную на теплограмме, с известными нормами можно сделать вывод о наличии дефекта.

Для объектов, чувствительных к превышению пороговых значений температуры и слабо визуализируемых (коммутаторы, усилители, кинопроцессор), хорошо применим метод интервального оценивания. Для этих компонентов дефект развивается быстро. Соответственно, необходимо рассчитывать доверительные границы, чтобы определять момент, когда температура превышает граничные значения. Ниже пример расчёта эксперимента. По данным независимых измерений ($n = 9$) найдено среднее арифметическое $\bar{x} = 40,2^\circ \text{C}$ и выборочное среднеквадратичное отклонение $S = 4$. Находим доверительный интервал для \bar{x} с доверительной вероятностью $\beta = 0,995$ ($\alpha = 1 - \beta = 0,005$).

$$\varepsilon_\beta = \frac{t_\beta S}{\sqrt{n}} = \frac{t_\beta 4}{3}$$

t_β — находим по таблице распределения Стьюдента с $V = n - 1 = 8$ и $\alpha = 0,005$: $t_\beta = 3,83$, следовательно $\varepsilon_\beta = \frac{3,83 \times 4}{3} = 5,1$, границы $40,2 - 5,1 < \bar{x} < 40,2 + 5,1$.

Рассчитанный интервал будет в диапазоне:
 $35,1^\circ \text{C} < \bar{x} < 45,3^\circ \text{C}$.

Если в эксперименте все значения температуры на теплограммах попадут в рассчитанный интервал, объект в порядке.

Заключение

В ходе разработки методов преобразования и анализа теплограмм аудиовизуальной техники предложено и опробовано несколько подходов к решению задачи диагности-

ки, зависящих от характера дефектов и особенностей оборудования: визуальный контроль, интегральное оценивание, дисперсионный анализ, дискриминантный анализ [5].

Одним из интересных дальнейших направлений исследований может стать оснащение системы сбора радиоинтерфейсом, например, Wi-Fi, что даст возможность применять устройства на мобильных или труднодоступных объектах. За счёт реализации возможности подключения сенсорной подсистемы с помощью радиоинтерфейса будет реализована

общая шина передачи данных, расширен диапазон возможного применения [6].

Развитие подсистем сбора информации (сенсоров), компьютерной техники, обеспечение автономности их работы позволяет (кроме задачи оснащения оборудования системами контроля и диагностики) приступить к проектированию сети подобных устройств и созданию информационно-диагностического комплекса обеспечения безопасности инженерных систем кинотеатральных объектов. Каждую из подсистем необходимо проанализировать и оснастить своими встроенными устройствами мониторинга и диагностики. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В. В., Соснин Ф. Р. и др. Неразрушающий контроль и диагностика/Справочник. М.: Машиностроение, 2003.
2. Модули общего назначения E14–140M и E14–440: <http://www.lcard.ru>
3. Белоусов А. А. Диагностика механических систем аудиовизуальной техники. СПб: Политехника, 2002.
4. Романовский В. А., Ляпцев Д. В. Диагностика механизмов кино- и видеоаппаратуры. // Проблемы развития кинематографии и телевидения. Сборник научных трудов, СПбГУКИТ, 2005.
5. Романов Р. А. Разработка методов преобразования и анализа теплограмм аудиовизуальной техники для диагностики её технического состояния. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, СПб, 2012.
6. Акульшин Ю. Д., Ляпцев Д. В. Комплексное обеспечение безопасности кинопоказа. // Измерения в современном мире. / Сборник научных трудов 4-й международной научно-практической конференции, 3–5 июня 2013 года. СПб: Изд. Политехнического Университета, 2013.



Трёхмерное видео с непрерывным ракурсом: съёмка, модель и отображение

А. Жирков, к.ф.-м.н.,
А. Путилин, к.ф.-м.н.,
ФИАН



Аннотация

Рассматривается задача отображения трёхмерного видео, наиболее близкого к тому, как видит реальный мир человек. Ключевым звеном, необходимым для решения поставленной задачи, является непрерывный ракурс. В отличие от схем, основанных на стерео и многоакурсных дисплеях, на этапе отображения необходима математическая трёхмерная модель видео, способная синтезировать ракурс для произвольного положения зрителя. Также важно, чтобы цифровое представление этой модели было компактно для возможности передачи контента по сети и позволяло производить генерацию ракурсов в реальном масштабе времени. С точки зрения этих требований, рассмотрены существующие трёхмерные модели, и сделан вывод, что наиболее эффективным является дискретная модель поверхности – октоизображение. В практической части работы получены три вида контента с непрерывным ракурсом – съёмка видео с датчиками глубины, съёмка многоакурсного фото и трёхмерное моделирование по фотографии. Для проверки концепции адаптивного дисплея и отображения полученного контента с непрерывным ракурсом разработана экспериментальная оптическая система, включающая адаптивный проекционный стереодисплей.

Ключевые слова: непрерывный ракурс, голография, 3D дисплей, адаптивный дисплей, октоизображение, многоакурсное фото, световое поле.

CONTINUOUS VIEW 3D VIDEO: RECORDING, MODEL AND DISPLAY

A. Zhirkov, A. Putilin

Abstract

We consider the problem of displaying three-dimensional video closest to the way one sees the real world. A key element necessary for a solution to the problem is continuous view. In contrast to the schemes based on the stereo and multi-angle displays, it is needed mathematical 3D model to synthesize the view for an arbitrary position of the viewer. It is also important that the digital representation of this model will be compact in order to transfer content over the network and to allow the generation of views in the real time. From the point of view of these requirements were considered the existing three-dimensional models and concluded that the most effective is a discrete model of the surface – octreeimage. In the practical part of this work were obtained three kinds of content with a continual camera angle: video recording with a depth sensor, multi-angle photos and three-dimensional photo modeling. To test the concept of an adaptive display the optical system was implemented experimentally.

Keywords: continuous view, free-viewpoint video, holography, 3D display, adaptive display, octreeimage, 3D photo, depth video, light field.

Вступление

В наиболее общем виде, целью нашего исследования является нахождение способа реалистичного отображения трёхмерного видео, т.е. чтобы человек просматри-

вал видео естественно, наиболее близко к тому, как он видит реальный мир. Можно также определить цель и как визуальное телеприсутствие (набор технологий, позволяющий пользователю получить впечатление того,

что он находится на месте, отличном от его физического местоположения), или как виртуальное присутствие в реальном мире – «реальная виртуальная реальность».

Список требований к технологиям, выполнение которых позволит достичь поставленной цели:

- *Интерактивность*: зависимость отображения видео от положения глаз наблюдателя. При этом должны быть обязательны эффекты заглядывания и объёмности, наблюдаемые в обычной жизни. Отсутствие этих эффектов существенно понижает реалистичность отображения.

- *Континуальный ракурс* – зависимость от положения глаз наблюдателя – должна восприниматься наблюдателем как континуальная/непрерывная. При недостаточной плавности отображения у человека возникает ощущение дискретности отображения, в вырожденном случае получаем обычное видео.

- *Естественный просмотр* – просмотр без очков или других нателных механизмов.

- *Наличие оси времени*, т.е. отображения 3D видео, а не 3D фотографии.

- *Объективная запись* контента из реального мира, а не из виртуального модельного мира, субъективно смоделированного 3D дизайнером.

- *Качество*: фотореалистичность, без артефактов. Наличие таких артефактов, как, например, видимая пиксельная структура, наличие дырок в объектах сцены, синтетичность объектов, сразу понижает реалистичность отображения.

- *Фокусировка на объекте*, а не экране. Согласование аккомодации-конвергенции как в реальной жизни.

- *Компактная цифровая форма*, позволяющая осуществить потоковую передачу и визуализацию контента по компьютерным сетям. Данное требование необходимо для возможности получать 3D видеоконтент в имеющейся личной инфраструктуре, без необходимости посещения специализированных мест, например, кинотеатров. Т.е. должна быть возможность показать трёхмерное видео удалённо, аналогично тому, как сейчас люди обмениваются, например, цифровыми фотографиями и видео.

- *Отображение в реальном масштабе времени*. Вычислительная сложность отображения не должна требовать мощностей суперкомпьютеров, должно хватать мощности обычных персональных компьютеров. Это требование необходимо для обеспечения массовости технологии, возможности использования в обычных домашних или рабочих условиях.

Существующие подходы к съёмке и отображению с точки зрения поставленной цели

Проанализируем достаточно репрезентативную выборку существующих подходов с точки зрения возможности достижения поставленной цели, включающей как процессы съёмки, так и последующего отображения.

- *Обычное видео*. Съёмка на обычную камеру и отображение на обычном мониторе. Такой подход не обладает свойством интерактивности и объёмности. Возможное

развитие данного подхода к направлению поставленной цели – использование методов преобразования исходно одноракурсного видео на два и даже более ракурсов с последующим отображением их на устройствах стереоотображения. Однако стоит отметить, что существующие автоматические методы, решающие эту задачу, по мнению многих экспертов, только дискредитируют объёмное кино ввиду очень низкого качества продуцируемого таким образом материала. Методы ручной конвертации позволяют достичь приемлемого качества, однако они очень трудоёмки и поэтому не подходят для массового контента.

- *Стереовидео + очки + дисплей*. Съёмка ведётся стереообъективом, а при просмотре на мониторе используются очки. Как и для обычного видео, отсутствует интерактивность, хотя появляется возможность использования бинокулярного зрения, т.е. в наличии эффект «объёма». Требование наличия очков противоречит требованию естественности просмотра.

- *Многоракурсная съёмка + многоракурсный автостереоскопический дисплей*. По сравнению с предыдущим подходом, здесь уже появляется интерактивность и естественность просмотра, вместе с этим сохраняется возможность использования бинокулярного зрения. Однако, если ракурсов мало, то не выполняется требование континуальности отображения, т.е. эффекта непрерывности для наблюдателя; если же ракурсов слишком много (например, более ста), то это приводит к сложностям как съёмки очень большим количеством камер, так и к нарушению требования отображения в реальном времени – для передачи видеопотоков не хватит ни пропускной способности канала, ни скорости современных персональных компьютеров. Постройка дисплея с большим количеством ракурсов сложна и энергоёмка, в современных дисплеях увеличение количества ракурсов часто достигается за счёт уменьшения пространственного разрешения, что также противоречит сформулированным требованиям. Для обеспечения дополнительного требования интерактивности по вертикали, скорость истощения вычислительных ресурсов и пропускной способности каналов вырастет в квадрате. С точки зрения эффекта объёма, в процессе формирования ракурсов в каждой картинке должна содержаться информация о глубине объектов, отображаемых на 3D дисплее, но отображение объёма пока напрямую доступно только вольюметрическим дисплеям, потому что они эмулируют рассеяние в активном объёме физически, и голограммам, формирующим волновой фронт кодированием фазы когерентного света. В схемах автостереоскопических дисплеев происходит кодирование угла видения каждой точки 3D изображения для правого и левого глаза (конвергенция глаза анализирует эту информацию), но настройка глаза по фокусу (аккомодация) остаётся постоянной, а именно, настроенной на плоскость экрана в проекционных схемах и на плоскости SLM (Spatial Light Modulator – пространственный модулятор света) в растровых схемах. Таким образом, при большом угловом параллаксе (выносе)

объекта из плоскости экрана растёт и рассогласование аккомодации и конвергенции. Рассогласование аккомодации и конвергенции – серьёзная проблема, прежде всего потому, что вызывает бурную реакцию у нашего зрительного анализатора в виде головной боли.

- *Панорамное или сферическое видео* получают с использованием специальной, хотя и достаточно простой видеосъёмки. Для пересылки и отображения такого видео в реальном времени хватает скорости обычных сетей обычного персонального компьютера. В последние годы данный подход стал заметно распространяться в интернете. Однако, с точки зрения поставленной цели, данные виды видео хотя и обладают интерактивностью в двух координатах, но в них отсутствует эффект заглядывания и эффект объёмности, и поэтому они не пригодны для достижения нашей цели.

- *Многоракурсное/3D фото*. В отличие от многоракурсного видео, проблема вычислительных ресурсов и пропускной способности каналов данных для *3D фото* стоит не остро даже при большом числе ракурсов. При использовании одного измерения для плавного/континуального вращения с периодом 10 секунд на оборот в 360 градусов требуется порядка 250 ракурсов. Но при добавлении возможности вращения *3D фото* по двум осям, количество требуемых фотографий для удовлетворения требования континуального ракурса достигнет уже десятков тысяч, что становится неприемлемо ни для передачи, ни для просмотра в реальном масштабе времени. Кроме ограничений по измерениям интерактивности, *3D фото* не удовлетворяет требованию наличия оси времени. С точки зрения отображения, *3D фото* может быть переведено в физический мир с использованием ленточной печати, а может быть отображено с использованием выше рассмотренных стереоскопических и многоракурсных устройств, соответственно, с сохранением имеющихся у них недостатков.

- *3D моделирование по фотографиям*. В отличие от всех ранее рассмотренных подходов, создаётся трёхмерная модель, которая может быть визуализирована с любого ракурса, т.е. удовлетворяет требованиям полной интерактивности и континуального ракурса. Однако сделать качественную модель на основе фотографий трудоёмко и, в любом случае, нет гарантии, что визуализация модели будет адекватно отражать реальность и будет фотореалистична.

- *2D интерполяция ракурсов*. В данном подходе несуществующие при съёмке ракурсы синтезируются на основе имеющихся, что позволяет удовлетворить требованию континуального ракурса. Однако в силу отсутствия трёхмерной модели снимаемого пространства, неизбежно появление артефактов на синтезированных видах в общем случае. Конечно, ситуация с качеством в данном подходе лучше, чем синтезирование новых видов в первом подходе, где имеется только обычное одноракурсное видео. Чем больше имеется ракурсов, тем меньше артефактов при синтезировании промежуточных. Отметим в связи с

этим работу [1], где реализован алгоритм по реконструкции ракурсов по трём исходным. Если рассматривать данный подход как препроцессинг для формирования многоракурсного видео, то для него также будет справедливым недостаток многоракурсного видео, связанный с очень быстрым ростом размера данных при стремлении количества ракурсов к континуальности и увеличению размерности интерактивности. Если же рассматривать интерполяцию на клиенте, то тут при увеличении количества ракурсов узким местом станут вычислительные возможности клиентского компьютера. Выходом из проблемы качества синтезируемых ракурсов, на наш взгляд, является формирование 3D модели, тем самым данный подход превратится из 2D синтеза ракурсов в 3D синтез ракурсов. С точки зрения количества ракурсов, выходом является адаптивный синтез ракурсов, т.е. только тех, которые нужны для отображения. Оба эти улучшения будут рассмотрены в следующих разделах.

- *3D моделирование – полигональные модели, «виртуальные миры» с отображением посредством шлема виртуальной реальности*. Такой подход удовлетворяет всем поставленным требованиям, кроме требования объективной съёмки реального мира, требования фотореалистичности и естественности просмотра.

- *Видео с глубиной*. Для получения глубины используют либо методы компьютерного зрения, либо активное облучение поверхностей, например, алгоритм сканирования устройства Kinect [2]. Перед отображением используются методы трёхмерной деформации изображений. Основной недостаток такой визуализации карты глубины – хорошее качество только для ракурсов, достаточно близких к исходному ракурсу камеры глубины. У нас же цель – получение континуального ракурса в достаточно большой области пространства просмотра. Карты глубины, получаемые при помощи пассивных методов компьютерного зрения, требуют существенного ручного труда для получения достаточно адекватной геометрии сцены. Недостатки алгоритмов активного сканирования также заключаются в достаточно «шумной» и некачественной выходной карте глубины, что при синтезе новых ракурсов порождает заметные артефакты, и это не позволяет говорить о достижении поставленной цели.

- *Множество видео с глубиной*. Данный подход отличается от предыдущего тем, что используется не один, а несколько видеопотоков с глубиной. Теоретически это позволяет синтезировать новые ракурсы в достаточно большой области пространства, «покрываемого» камерами карт глубин. О возникающих проблемах в этом подходе и путях их решения будет изложено в следующих разделах.

- *Голография*. Голография совмещает в одном физическом носителе как съёмку, так и отображение. Кроме отсутствия шкалы времени, в данном подходе пока отсутствуют известные авторам эффективные методы перевода в компактный цифровой формат, т.е. нет возможности передать это изображение множеству людей

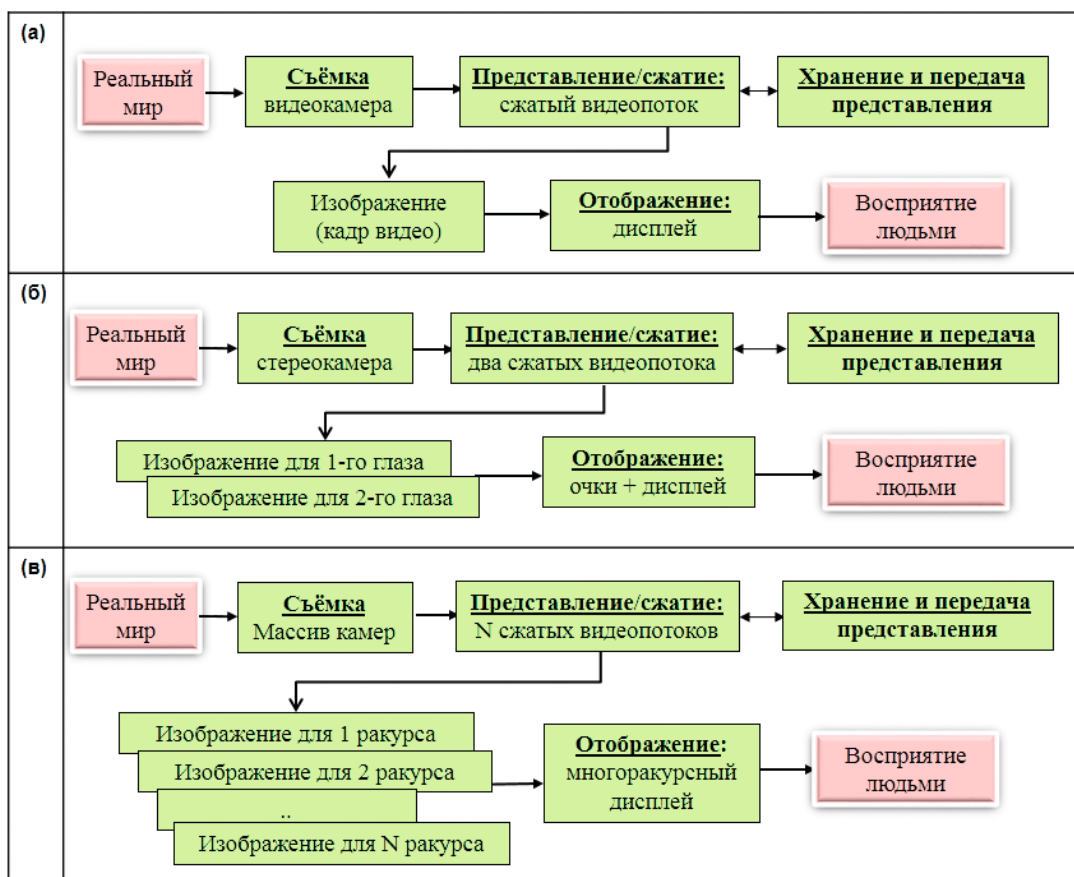


Рис. 1. Традиционные схемы работы с одноракурсной (а), стерео (б) и многоракурсной (в) съёмкой и отображением

на расстоянии. Голография как метод очень хорошо подходит к отображению 3D изображений с континуальным ракурсом, однако фактически избыточная информация и трудности создания голографических SLM пока сводят на нет все преимущества голографии. Отображение голографических изображений решает проблему аккомодации-конвергенции, но кодирование быстро осциллирующей фазы светового пучка и хроматизм голограмм приводят к низкой эффективности алгоритмов сжатия информации и затруднению широковежательного распространения голографической информации.

- **Голографическое кино.** К этому подходу относятся все те же сложности, что связаны и со статической голографией, рассмотренной ранее. Добавим, что сложности возникают и при съёмке, заключающиеся в необходимости длительной выдержки и необходимости отсутствия физических вибраций. Стоит упомянуть, что настоящее голографическое кино существовало короткий промежуток времени в нашей стране [3].

- **Континуальное 3D фото или световое поле (Light field) [4] или пленоптик (plenoptic) функция [5].** Данный подход исходно относился к теории компьютерной графики, хотя и имеет в настоящее время выпущенные аналоги камер, способных заснять световое поле, т.е. подход распространился и в область компьютерного зрения. По сути, это представление близко к голографи-

ческому, поскольку позволяет получить значение света в любой точке и в любом направлении для определённого трёхмерного множества. Основные проблемы в данном подходе в огромных объёмах данных, которые включают в себя световое поле. Более подробно остановимся на этом подходе позднее.

Из проведённого анализа видно, что ни один существующий подход не позволяет достичь поставленной цели. Хотя в совокупности подходов все отдельные требования удовлетворяются, что порождает надежду в существовании подхода, который позволит удовлетворить всем поставленным требованиям. По нашему мнению, наиболее перспективным является гибридизация следующих подходов: множество видео с глубиной для съёмки и основы для представления трёхмерного видео, световое поле как форма цифрового отображения и голографический адаптивный монитор для физического отображения.

Схемы работы с континуальным ракурсом: необходимость в модели

Для понимания схемы работы с континуальным ракурсом рассмотрим схемы работы с обычным видео, стерео и многоракурсным (рис. 1). Как видно, принципиальная схема работы остаётся аналогичной, присутствует съёмка, представление в сжатом виде, процессы кодирования и декодирования с поточным получением отдельных

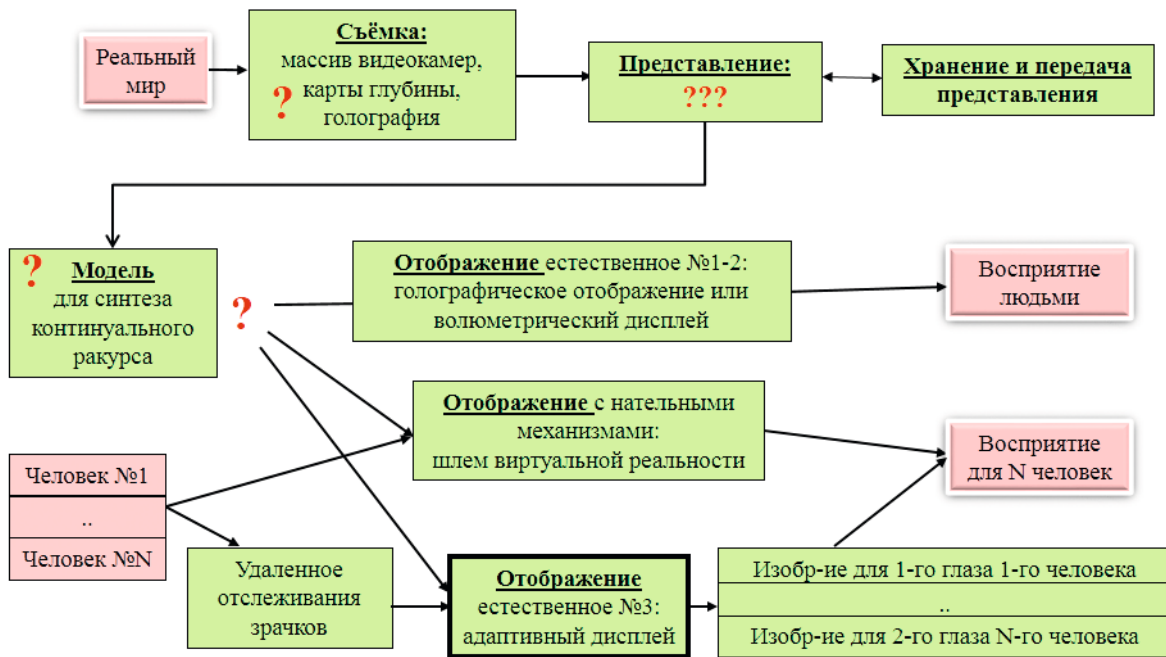


Рис. 2. Схема работы с континуальным ракурсом

ракурсов изображений. Качественное (не количественное) отличие этих схем заключается лишь в методе отображения.

Существенно изменяется ситуация при работе с континуальным ракурсом (рис. 2). Кроме съёмки обычными камерами, для некоторых рассмотренных ранее подходов возможна дополнительная съёмка карт глубины, съёмка голографии или светового потока. Континуальный ракурс уже невозможно хранить просто списком всех ракурсов, что исходит из самого его названия, количество возможных ракурсов получается несчётным (при реализации на дискретных элементах в корректном математическом смысле количество ракурсов всё же ограничено возможностями представления чисел с плавающей точкой в цифровой записи). Для возможности реализации континуальности требуется возникновение нового элемента схемы работы – модели, способной синтезировать ракурсы. Представление трёхмерного видео уже должно содержать не просто набор видеопотоков, а компактную форму цифровой записи модели трёхмерного видео.

С точки зрения отображения, схема работы может подразумевать отображение в физическую среду «континуального ракурса», и далее он может независимо рассматриваться произвольным количеством людей. К таким средствам отображения относится голографическое и волюметрическое. В голографическом отображении сложности возникают в компактной цифровой записи и быстром отображении. Волюметрические дисплеи, в силу своих особенностей, пока способны отображать только весьма узкий спектр локальных объектов. Отображение может быть с использованием специального нателного оборудования, адаптивно для человека синтезирующего новые ракурсы в зависимости от его по-

ложения или использования манипуляторов. И третий вид отображения континуального ракурса – адаптивный дисплей, в котором ракурсы формируются адаптивно к положению наблюдателей.

Заметим, что устойчивого русскоязычного термина для видео с континуальным ракурсом ещё не образовалось. Существует адекватный рассматриваемому понятию англоязычный термин *free-viewpoint video* [6], что можно перевести как видео с произвольным выбором ракурса или видео со свободным выбором положения наблюдения. Мы выбрали в контексте статьи термин «континуальный», поскольку он более чётко вписывается в ряд: одноракурсный, двухракурсный (стерео), многоракурсный, континуальнонакурсный. Однако можно было назвать этот термин также непрерывным, не дискретным, плавным ракурсом или бесконечнонакурсным. К синонимичным названиям можно также отнести естественное /натуральное/ реальное 3D видео. Какой из этих терминов приживётся, сказать сложно.

В следующих разделах будут подробно рассмотрены анализ моделей трёхмерного видео, а затем и способы его отображения в континуальном ракурсе.

Выбор модели трёхмерного видео с континуальным ракурсом

В отличие от обычного видео, стерео и многоракурсного, где задача цифрового представления достаточно очевидна и представляет больше задачу сжатия и техническую проблему реализации, для континуального ракурса эта задача не тривиальна. Термин представления напрямую связан с термином модели, т.е. математического описания в трёхмерном пространстве, далее будем использовать более популярный, но менее корректный

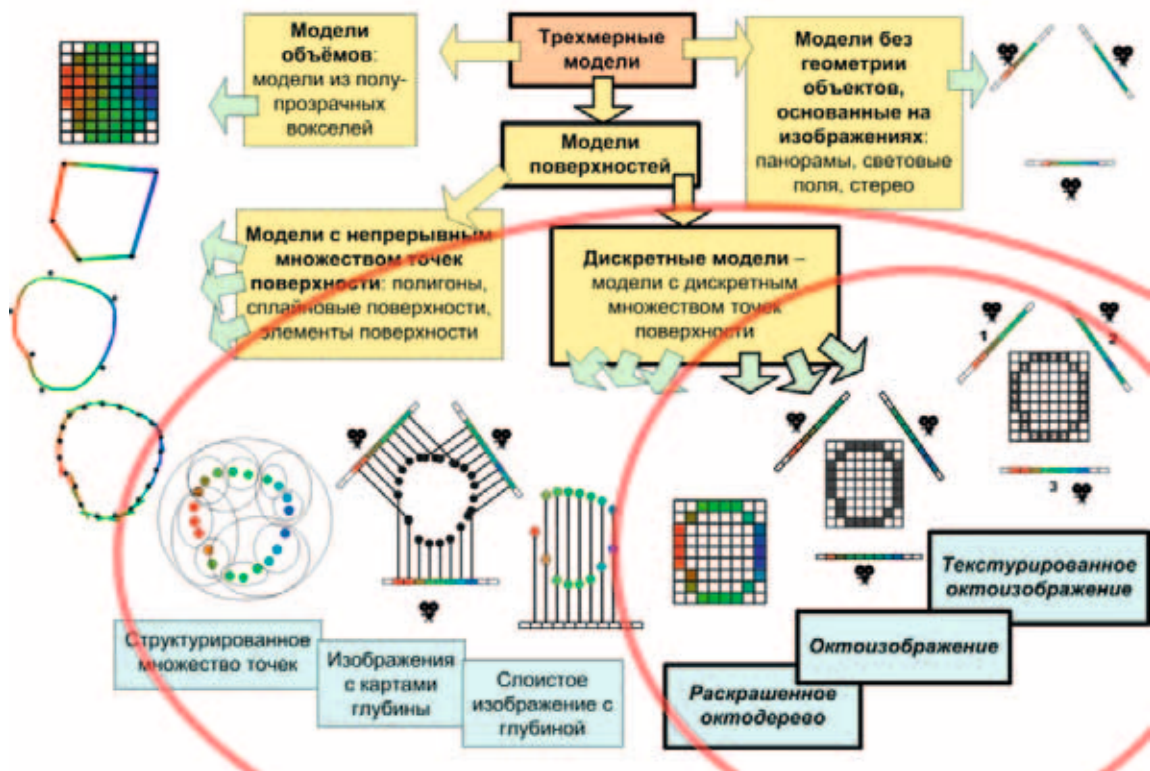


Рис. 3. Общая классификация трёхмерных моделей

термин *трёхмерные модели*. Под представлением подразумевается запись информации *трёхмерной модели* в цифровом виде.

На рис. 3 дана классификация трёхмерных моделей. Для упрощения изложения рассматриваются модели отдельных кадров трёхмерного видео, т.е. статические.

- *Модели объёмов* описывают весь объём объекта, содержащийся в нём. Обычно для этого используют воксельные структуры, представляющие из себя трёхмерный растровый массив, элементы которого – воксели – имеют базовый атрибут прозрачности или плотности, опционально атрибут цвета и др. Для большинства приложений достаточно моделирования только поверхностей объектов, модели объёмов используют в довольно узких областях – томографии, научной визуализации, моделировании природных явлений. Модели объёмов, состоящие из полупрозрачных вокселей, содержат очень большой объём данных и, как следствие, возникают проблемы поточной пересылки таких данных и их визуализации в реальном масштабе времени.

- *Модели без геометрии объектов, основанные на изображениях*. На другой стороне от модели объёмов находятся модели, в которых синтез изображений происходит без явного участия геометрической модели (рис. 3). Данный класс также называют немодельным или классом моделей синтеза изображений по изображениям. К данному классу относятся, в частности, панорамное видео и многоракурсное видео.

- *Модели поверхностей с непрерывным множеством точек поверхности*. К таким моделям относятся, в пер-

вую очередь, очень распространённые в виртуальных мирах полигональные текстурированные модели.

- *Дискретные модели, т.е. модели, заданные на конечном множестве точек*. Такие модели наиболее естественны для представления объективных данных, полученных о поверхностях реального мира. На наш взгляд, именно дискретные модели лучше всего подходят для задачи континуального ракурса. Дискретна, т.е. состоит из отдельных точек, только модель, но визуализировать её можно с любого произвольного ракурса, т.е. получать континуальный ракурс.

Виды дискретных моделей и их обобщения

- *Множество точек*. Самый простой вид дискретных моделей – раскрашенные точки. Для удобства использования, в частности использования разных масштабных уровней, их структурируют [7]. Недосток множества точек – большой объём данных, а также возможность визуализации только диффузных поверхностей, поскольку цвет точки не зависит от угла её просмотра. Такое ограничение не позволяет назвать такой вид визуализации фотореалистичным, а это является одним из основных требований.

- *Изображения с картами глубины*. В частном случае модель описывается одним изображением с одной картой глубины, но такой вид модели очень сильно ограничивает возможности представления сцен и при визуализации возникают дырки, поэтому рассмотрим сразу общий случай с множеством карт глубины. Плюсом такой модели является возможность достаточно эффективного сжатия,

т.е. представление такой модели в цифровом виде компактно. Минусом является то, что если требуется получить модель, полностью лишённую геометрических дырок, то требуется очень много карт глубин, что приводит к дублированию данных о поверхностях, видимых с разных сторон. Попытки устранить эту проблему путём удаления дублирующейся информации приводят к проблеме разрежённости карт глубин и, как следствие, «разбухания» представления, т.е. большая часть площади раstra карт глубин становится не используемой.

- *Слоистое изображение с глубиной.* С одной стороны, этот вид моделей не содержит дублирующейся информации как множество карт глубин, но разрывность структуры не позволяет компактно в цифровом виде представлять такие модели. К плюсам этой модели следует отнести наличие базовой упорядоченности двумерным растром, что позволило изобрести для этого вида моделей быстрые методы инкрементальных вычислений, кратно ускоряющих визуализацию.

- *Раскрашенное октодерево.* Может показаться, что этот вид моделей был уже рассмотрен в самом начале, когда мы рассматривали структурированное множество точек. Однако существенным отличием данного представления является то, что единицей информации здесь выступает не точка, а воксел. Термин «воксел» был исходно введён для моделей объёмов как куб с атрибутами цвета и прозрачности. Но в раскрашенном октодерево воксел – это и не фиксированная точка, и не куб. В данном виде моделей хранятся только поверхностные воксели, т.е. те воксели, внутри которых проходит поверхность. Но то, как в вокселе проходит поверхность, определяется уже на этапе визуализации. Введение вокселя позволяет устранить неопределённость с понятием непрерывности, которое отсутствует в ранее рассмотренных дискретных моделях: в воксельном пространстве есть понятие связности вокселей, соответственно, если через два соседних вокселя проходит поверхность, то она проходит непрерывно и при визуализации надо это учитывать. Так же, как и для представлений на основе слоистого изображения с глубиной, для октодерева был разработан алгоритм быстрой визуализации, использующий иерархию для ускорения просчёта преобразований проекции [8].

- *Октоизображение.* Октоизображение состоит из октодерева, положения камер и изображений пространства октодерева с этих камер. Плюс модели октоизображения в том, что изображения хорошо сжимаются существующими методами сжатия, а для октодерева был разработан специальный эффективный алгоритм сжатия. Поэтому в целом данное представление является очень компактным. А для его быстрой визуализации перед отображением его переводят в явную форму рассмотренного ранее раскрашенного октодерева.

- *Текстурированное октоизображение.* Данный вид модели становится необходим при переходе от визуализации отдельных статических 3D кадров к 3D видео. Получение раскрашенного октодерева из октоизображе-

ния вычислительно сложный процесс, поэтому для выполнения требования визуализации 3D видео в реальном масштабе времени к октоизображению на этапе создания добавляется предвычисленная текстурная компонента. Текстурная компонента, как и в случае текстур для полигональных моделей, позволяет в явном виде быстро сопоставить геометрическую и цветовые компоненты. Таким образом, текстурированное октоизображение состоит из видеопотоков, соответствующих им параметров камер, потока октодеревьев и потока текстурной информации.

Обобщение дискретных моделей: видео

Как видно из проведённого обзора дискретных моделей, одновременно задачи обеспечения скорости визуализации и поточного компактного цифрового представления решаются наиболее эффективно при помощи *текстурированного октоизображения (Octreelimage с Textured Binary Volumetric Octree)*. При этом, в отличие от многих других моделей, оно легко обобщается на случай видео – вместо изображений хранятся видео потоки, положения камер могут меняться, а кадры октодеревьев обобщаются на их поток. Заметим, что в таком виде это представление было стандартизировано в рамках MPEG-4 стандарта [11], но по факту не используется, в частности, и ввиду отсутствия необходимости в его применении до настоящего времени. Возможно, при развитии трёхмерного видео с континуальным ракурсом, данное представление станет востребованным.

Обобщение дискретных моделей: сцены

Отметим, что модели, основанные на *октоизображении*, пригодны для представления отдельных видео объектов, но не больших видео сцен. Если рассматривать обычное видео или даже стереоскопическое, то там возможная область перемещения по сцене ограничена одной точкой и одним ракурсом, в сферическом видео точка также одна, хотя может менять направление обзора. В виртуальном мире вопрос о границах также не встаёт, но по другой причине – можно двигаться где угодно в пределах созданного дизайнером мира.

Рассмотрим случай отсутствия ограничений на передвижения зрителя, т.е., по сути, поставим задачу представления и отображения сцены произвольной сложности. Для определённости рассмотрим сцену, типичную для компьютерных игр. В таких играх миры состоят большей частью из больших плоских поверхностей. В нашем же случае будет построена большая дискретная сцена, включающая все шероховатости реальной поверхности, и занимать она будет несоизмеримо больший объём. Попробуем его оценить. Если для хранения модели одного дискретного объекта достаточно измерения в тысячу вокселей, то большая сцена может содержать по каждому из измерений 100 тысяч вокселей, учитывая примерно квадратичную зависимость объёма данных октодерева от линейного разрешения – получим тысячекратный рост размера данных. Для таких громоздких

сцен был разработан метод *иерархических ячеек* [9] с клиент-серверной адаптивной передачей данных. Что касается задачи динамических сцен, т.е. 3D видео сцен с произвольным перемещением пользователя и произвольным динамизмом сцены, то выполнение всех наших требований, на наш взгляд, не будет разрешимо в ближайшие десятки лет. Выход из этого положения – ограничить область перемещения зрителя разумными рамками, например, учитывая, что устройством отображения будет стационарный плоский дисплей, то можно запретить выходить зрителю в дисплей-телепорт. Для такой области перемещения зрителя рекомендуется организовать модель трёхмерного видео следующим образом: для объектов переднего плана использовать *октоизображение*, для среднего плана изображения с глубиной, для заднего плана использовать видео спрайты, а фон хранить сферическим или панорамным видео.

Обобщение дискретных моделей: нечёткие границы объектов

Рассмотренные 3D модели отдельных кадров подразумевали, что поверхности объектов сцены фильма являются непрозрачными и чётко заданными. Это допущение делается во многих областях компьютерной графики, однако при реальных съёмках видео такое допущение слишком ограничивает область адекватности отображения. Необходимо учитывать конечность разрешающей способности сенсора, что приводит к тому, что очень тонкие объекты при заданной частоте пространственной дискретизации адекватно смоделированы только частичной прозрачностью. Также, в отличие от компьютерной графики, при реальных съёмках области точной фокуси-

ровки ограничены, что приводит к существованию размытости границ объектов и планов.

Для учёта таких особенностей реального видео можно использовать модель из карт глубины с каналом прозрачности, т.е. изображений, в которых присутствует и карта глубины, и карта прозрачностей. Такие представления используют, например, при конвертации из одноили двухракурсного формата в многоракурсный. Но оно же может быть использовано и для синтеза континуального ракурса. Полностью автоматическое качественное построение карты прозрачности слишком сложная и неоднозначная задача, поэтому используют ручную помощь, например, в виде рисования тернарной (троичной) маски. Для отдельных фотографий задача построения карты прозрачности решается вполне успешно [10], однако для видео просто обобщение таких методов не даёт стабильно хороших результатов.

Отметим, что карты глубины пригодны для представления только достаточно простых объектов. Уже такой объект, как чайник с открытой крышкой при просмотре сверху нельзя корректно представить одной картой глубины, даже для близких ракурсов. Особенно ограниченность карт глубин критична для объектов переднего плана с большим диспаратетом. Можно, конечно, для каждого объекта сцены и плана использовать несколько карт глубин, однако, как было показано в [11], это приводит к потере эффективности такого представления в связи с дублированием и к потере визуального качества. Более эффективно в таких случаях использование октоизображения. Причём, изображения в *октоизображении* так же, как и карты глубины, могут иметь прозрачность [12]. ■

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. *Озеров С.И.* Интегральное стереокино по трём снятым ракурсам // МТК № 11, 2009. С. 8–16.
2. *Freedman B., Shpunt A., Cachline M., Arieli Y.* DEPTH MAPPING USING // US Patent 20100118123. PROJECTED PATTERNS. <http://www.google.com/patents/US20100118123.pdf>
3. *Тюнин С.В.* История голографического кино в России // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях. Москва, 2012.
4. *Levoy Marc, Hanrahan Pat.* Light field rendering // SIGGRAPH'96 Proceedings, 1996.
5. *Adelson E.H., Bergen J.R.* The plenoptic function and the elements of early vision // Computational Models of Visual Processing, MIT Press, 1991.
6. *Wurmlin Stephan, Lamboray Edouard, Gross Markus.* 3D video fragments: dynamic point samples for real-time free-viewpoint video // Elsevier Science, Computer & Graphics, 2004.
7. *Rusinkiewicz S. and Levoy M.* QSplat: A multiresolution point rendering system for large meshes // Proc. Of SIGGRAPH'00, p. 343–352, July 2000.
8. *Zhirkov A.* Binary Volumetric Octree Representation for Image Based Rendering // GraphiCon'2001, Сентябрь 2001.
9. *Жирков А., Паршин А.* Адаптивный рендеринг трёхмерных сцен на основе иерархических ячеек // 15-ая международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению GraphiCon'2005, 2005.
10. *Gastal Eduardo S.L., Oliveira Manuel M.* // Shared Sampling for Real-Time Alpha Matting Omputer Graphics Forum, 2010. May, Vol. 29, no. 2, p. 575–584. Proceedings of Eurographics.
11. *Levkovich-Maslyuk L., Ignatenko A., Zhirkov A., Konushin A., Timasov D., Bayakovski Y., Han Mahnjun, Park In Kyu.* Depth Image-Based Representation for Static and Animated 3D Objects // IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology. Special Issue on MPEG-4 AFX. July 2004.
12. *Жирков А.* View-Dependent Octree Image Rendering // 13-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению GraphiCon'2003. М., 2003. С. 112–117.



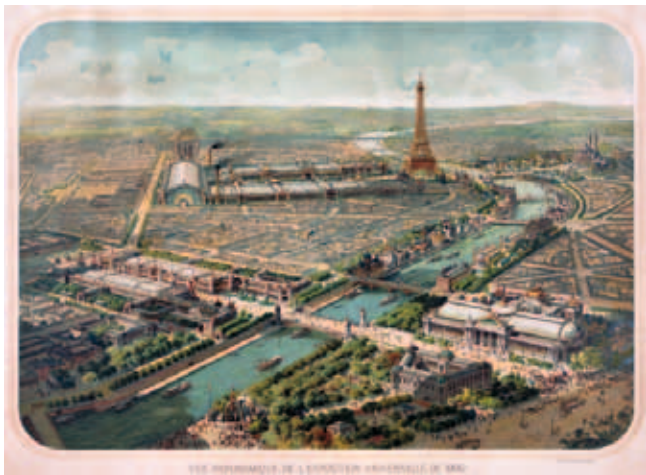
САМЫЕ ПЕРВЫЕ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА



Н.А. Майоров, режиссёр-оператор, киновед,
член Союза кинематографистов России

(Продолжение. Начало в МТК № 27, 28)

1900 год



Панорама Всемирной выставки в Париже 1900 года

15 апреля в Париже открылась Всемирная выставка 1900 года, ставшая рекордной по числу посетителей среди всех международных выставок XX века – за семь месяцев выставку посетили более 50 миллионов человек (выставка закрылась 12 ноября 1900 года). 76 тысяч участников из 35 стран мира, включая Российскую Империю, продемонстрировали свои достижения накануне нового века в восемнадцати тематических отделах выставки. Среди множества павильонов, расположившихся на площади 1,12 км², «Павильон иллюзий» занимал особое ме-

сто – здесь демонстрировались новейшие изобретения XIX века: электричество, автомобиль, телефон и радиотелеграф, X-лучи Рентгена и кинематограф.

Кинематограф на Всемирной выставке 1900 года продемонстрировал перспективы своего дальнейшего технического совершенствования и идеи, получившие дальнейшее развитие в веке двадцатом. В Париже впервые были показаны и кругорамный кинематограф, и съёмка на широкоформатной плёнке, и ручная колоризация изображения, и первые опыты по синхронизации звука с изображением.

Фильмы «заговорили» задолго до официально принятой даты прихода звука в кино. С первых дней существования нового вида искусства велись работы по созданию звуковых систем. Сначала, на основе синхронизации работы Фонографа (Phonograph) или Грамофона (Gramophone) с кинопроектором, и чуть позже, с записью оптической фонограммы непосредственно на киноплёнку с изображением. Таким образом, с первых шагов развития звукового кинематографа начали формироваться две системы реализации синхронной записи звука: «Звук на диске» (Sound-On-Disk) и «Звук на плёнке» (Sound-On-Film).

Sound-On-Disk

Использование грамофона для музыкального сопровождения фильмов, так же как и таперов, нельзя рассматривать как систему звукового кинематографа. Тогда первый российский художественный фильм «Понизовая вольница» (Стенька Разин), поставленный А. Дранковым в 1908 году, можно считать и первым российским

звуковым фильмом. (Фильм распространялся по российским кинотеатрам в комплекте с граммофонными пластинками, на которых была запись музыкального сопровождения к фильму, которое специально написал композитор М.М. Ипполитов-Иванов). Но эти способы псевдо-звукового кино появились намного позже первых успешных опытов с синхронным звуком по системе «Звук на диске».

Французский историк кинематографа Жорж Садуль во «Всеобщей истории кино» пишет: «...6 ноября 1889 года, когда Эдисон, вернувшись из Европы, впервые посетил комнату №5, он увидел там на экране величиной с четверть бумажного листа изображение Диксона в сюртуке, который поклонился ему, сняв шляпу, и прогнусавил: *Здравствуйте, господин Эдисон. Я счастлив вас видеть. Надеюсь, что вы довольны кинетофонографом*».

Таким образом, первый звуковой фильм был снят и продемонстрирован за шесть лет до официального рождения кинематографа.

В последующие годы многие кинофирмы Европы и США вели разработки звуковых систем кинематографа «Звук на диске», некоторые из которых были доведены до коммерческого использования.

Мы не будем говорить о качестве воспроизведения звука. Понятно, что при отсутствии микрофонов и усилителей, звуковые фильмы начала XX века были далеки от совершенства. Но появление в 1925 году электрической записи звука дало возможность получать относительно высококачественную фонограмму, и что не менее важно, обеспечить необходимую громкость воспроизведения при демонстрации фильма. Технический прогресс в области звукозаписи и воспроизведения дал возможность создать к 1926 году звуковую систему «Vitaphone sound-on-disc», с первой демонстрации которой и закончилась эра немого кино. «Великий немой» запел, заговорил, зашумел. На экраны были выпущены десятки фильмов, единственным достоинством которых была синхронная болтовня. И связано это было не столько с желанием насладиться звуком, сколько с техническими ограничениями самой системы звукозаписи «Звук на диске». Главным из них была невозможность монтажа фонограммы на диске, и съёмка больших синхронных сцен велась одним планом. Всё это с приходом звука, на первом этапе его внедрения, обедняло изобразительный ряд фильма и лишало режиссёра возможности применять богатый опыт монтажа немого кино. Это относится к художественным недостаткам, созданными системой «Звук на диске», с которыми постепенно научились бороться.

Но система имела и несколько существенных технических недостатков, заложенных в ней ею же самой, преодолеть которые было невозможно вплоть до 90-х годов XX века. Вот два главных из них:

1. Сложная механическая система синхронизации работы проигрывателя и кинопроектора.

2. Рассинхронизация изображения и звука и практически невозможное её восстановление в случае обрыва

плёнки, порчи звуковой бороздки на диске или перескакивании звуковой иглы во время демонстрации.

Эти и другие недостатки, а также успешное развитие альтернативной и более функциональной системы звукозаписи «Звук на плёнке» (sound-on-film) привели к прекращению массового использования системы «Звук на диске». Начиная с 1931 года, производство звуковых фильмов осуществлялось исключительно по системе «Звук на плёнке».

В 90-е годы XX века система «Звук на диске» возродилась на новом, высочайшем уровне. Демонстрация фильмов с шестиканальным цифровым звуком по системе DTS использует CD ROM-диски, синхронизированные с тайм-кодом на плёнке, что обеспечивает полную синхронность изображения и звука независимо от обрыва плёнки.

Таким образом, система звукового кинематографа «Звук на диске», родившаяся в конце века девятнадцатого и положившая начало эры звукового кино на примитивном уровне, возродилась в конце века двадцатого, расширив звуковой мир кинематографа.

Kinetophonograph (Кинетофонограф)

Кинетофонограф стал первой экспериментальной системой звукового кинематографа. В 1889 году Томас Эдисон синхронизировал работу фонографа с кинетоскопом и организовал демонстрацию своих фильмов по этой системе для публики.

Kinetophone (Кинетофон)

В апреле 1895 года Эдисон продемонстрировал первый экспериментальный звуковой фильм, снятый У. Диксоном по разработанной им системе «Кинетофон» – «**Dickson Experimental Sound Film**» (Экспериментальный звуковой фильм Диксона). Так же как и в системе «Кинетофонограф», для демонстрации использовались синхронизированные друг с другом кинетоскоп и фонограф, обеспечивающие только индивидуальный просмотр и прослушивание.

Несмотря на уход Диксона с фирмы Эдисона, работы по совершенствованию этой системы продолжались. И в 1913 году публике была продемонстрирована новая система «Кинетофон», в которой синхронизировалась уже работа кинопроектора с фонографом. Проектор, установленный в одном конце зала, соединялся с фонографом у экрана длинным шкивом, обеспечивающим синхронность работы двух устройств. Для записи и воспроизведения звука использовались цилиндрические целлулоидные валики диаметром 14 см.

Chronophone (Хронофон)

Система, запатентованная 1 июля 1901 года французской фирмой «Гомон» (Gaumont), состояла из кинопроектора Люмьера, соединённого гибким валом с фонографом Эдисона для обеспечения синхронизации изображения и звука. Разработчик системы Оскар Мес-

стер (Oskar Messter) через некоторое время заменил валики фонографа на граммофонные пластинки. Продолжительность звуковых фильмов составляла от трёх до пяти минут при скорости проекции 16 кадров в секунду, что соответствовало максимальной продолжительности звучания валика или пластинки. Для усиления звука граммофона использовались специальные громкоговорители с использованием постоянного потока сжатого воздуха – Эглефон (Eglerphone), разработанные фирмой «Гомон».

Первая демонстрация звукового фильма по системе «Chronophone» состоялась 12 сентября 1902 года во Французской Академии наук. Фирма Гомон начала выпуск оборудования для кинотеатров и съёмки звуковых фильмов. Первые звуковые фильмы представляли съёмки сцен из опер, варьете или театральных спектаклей. Начиная с 1907 года, по системе «Chronophone» было снято несколько десятков звуковых фильмов. В 1910 году в Париже открылся кинотеатр «Гомон Палас» (Gaumont Palace) с залом на 5000 зрителей, где с успехом демонстрировались эти звуковые фильмы.



Кинотеатр «Гомон Палас» (Gaumont Palace) в Париже

«Chronophone» стал первой звуковой системой кинематографа, продемонстрированной в России: «21 октября 1906 года в Русском фотографическом обществе в Москве состоялась первая в России демонстрация говорящего кинематографа Гомона. В присутствии членов общества и гостей А. Рейман сделал краткое описание устройства «Эльжефона», аппарата, посредством сжатого воздуха воспроизводящего звуки граммофона, затем состоялась демонстрация «поющих» картин».

Віорфон (Биофон)

Звуковая эра в немецком кино началась в 1903 году. Оскар Эдуард Месстер (Oskar Eduard Messter, 21.11.1866-07.12.1943) разработал систему синхронизации граммофона с кинокамерой и кинопроектором «Віорфон». Звуковые фильмы, снятые по системе О. Месстера, пользовались большой популярностью в Германии перед Первой мировой войной.

Самерафон (Камерафон)

Система «Самерафон» была разработана Е.Е. Нортон (E.E. Norton) в 1908 году и мало чем отличалась от

системы «Chronophone». Фильмы по этой системе демонстрировались в нескольких кинотеатрах США.

Vivaphone (Вивафон), Electrograph (Электрограф), Phoneidograph (Фонидограф), Picturephone (Пикчарефон), Phonoscope (Фоноскоп) – системы звукового кино, аналогичные системам «Самерафон» и «Chronophone», эксплуатировались в различных странах в 10-е годы XX века.

Синерфон (Синефон)

Английский кинопродюсер и режиссёр Уилл Баркер (Will Barker) в марте 1909 года представил лондонской публике звуковой фильм по системе «Синерфон». Это была одна из самых простых и самых дешёвых звуковых систем того времени. Синхронизация звука с изображением производилась вручную киномехаником по специальным меткам на изображении и находилась в прямой зависимости от его мастерства «крутить ручку». Система находилась в эксплуатации до 1911 года.

Витафон (Витафон)



Диски Витафон

Практически реализованной и получившей массовое распространение по миру синхронной системой звукового кино с использованием граммофонных пластинок стала система, разработанная компанией «Western Electric» (Вестерн электрик) – «Vitaphone» (Витафон).

Для записи звука использовались специальные пластинки диаметром 40 см. Скорость вращения диска составляла 33 оборота в минуту, продолжительность звучания – около 10 минут, что соответствовало одной части фильма. Каждый диск мог использоваться двадцать раз, после чего заменялся на новый.

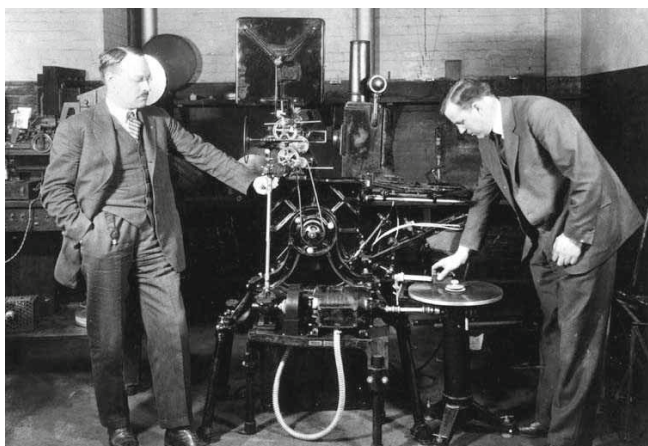
Киномеханики отмечали в специальной таблице на этикетке диска число показов.

Для синхронизации звука с изображением использовалось специальное устройство, механически связывающее проигрыватель дисков с кинопроектором.

Первая демонстрация короткометражного звукового фильма с участием актёров Мэри Астор (Mary Astor) и Джона Барримора (John Barrymore), снятого по системе «Vitaphone», состоялась в нью-йоркском «Уорнер Театре» (Warner Theatre) 2 августа 1926 года.

А 26 августа, там же, состоялась премьера звукового (с синхронной музыкой и шумами) полнометражного

фильма «Don Juan» (Дон Жуан) с Джоном Барримором в главной роли. Фильм был поставлен на киностудии «Warner Bros.» режиссёром Аланом Кросландом (Alan Crosland). Музыкальная фонограмма для фильма была записана нью-йоркским филармоническим оркестром (New York Philharmonic Orchestra) под управлением британского дирижёра Джорджа Гровеса (George Groves) в Манхэттанском Доме Оперы (Manhattan Opera House). Оркестр состоял из 107 музыкантов. Интересен тот факт, что фонограмма записывалась шестью микрофонами для достижения наилучшего баланса звука инструментов оркестра.



Система Витафон в проекционной киноаппаратной



Запись фонограммы по системе Витафон

Перед премьерой «Don Juan» была показана программа из короткометражных звуковых фильмов с участием Ефрема Цымбалиста (Efrem Zimbalist), Роя Смэка (Roy Smeck), Миши Элмана (Mischa Elman), Марион Таллей (Marion Talley), Джованни Мартинелли (Giovanni Martinella) и хора Метрополитен Опера (Metropolitan Opera Company chorus).

Польский историк кино Ежи Теплиц в своей книге «История киноискусства 1928–1933» пишет: «Премьера «Дон Жуана» превратилась в триумф, причём публика восторгалась не столько самим фильмом, сколько звуковыми фрагментами. Радовалась тому, что каждое из

325 слов речи Хейса, приветствующего новое изобретение, звучало отчётливо. Восхищалась мастерством певцов и музыкантов-виртуозов. Звуковое кино сдало экзамен с отличием. У касс нью-йоркского кинотеатра Уорнеров много недель подряд висела табличка: «Все билеты проданы».

А президент Ассоциации продюсеров и прокатчиков Америки Уилл Хейс, чьё выступление, снятое синхронно, предварило фильм, заявил после премьеры: «Кино стало самым могущественным средством популяризации хорошей музыки в массах. Теперь ни артисту, ни его искусству не грозит полное исчезновение».

Успех звукового «Дон Жуана» ещё не был началом конца «Великого немого». Массовый переход к производству звуковых фильмов начался после премьеры 6 октября 1927 года нового фильма компании «Warner Bros.» – «The Jazz Singer» (Певец джаза). Этот фильм, как и «Дон Жуан», был ещё не полностью «говорящим», но в нём уже присутствовали в небольшом количестве все атрибуты настоящего звукового фильма: синхронный диалог актёров, пение, шумы и музыкальное сопровождение действия.

Потратившись на постановку «Певца джаза», кинокомпания «Warner Bros.», рискуя потерять всё, сделала прорыв вперёд не только из своих экономических проблем и поправила своё финансовое положение (сбор 3 миллиона долларов), но и явилась пионером в массовом развитии звукового кинематографа.

Первый 100% говорящий художественный фильм «Lights of New York» (Огни Нью-Йорка), выпущенный на экраны США 28 июля 1928 года, закрепил успех «Warner Bros.» и системы «Vitaphone».

Началось победное шествие звукового кинематографа по США и всему миру. Из приведённой ниже таблицы видна динамика оборудования кинотеатров звуковоспроизводящей системой «Vitaphone»:

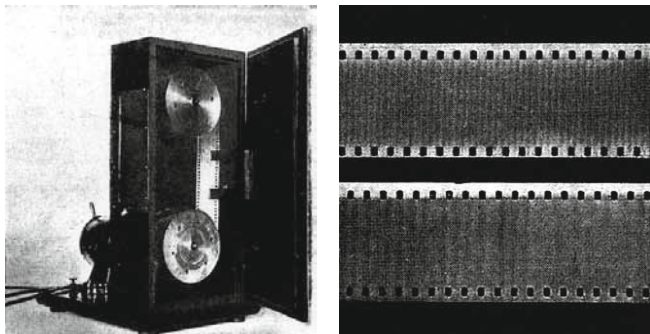
Месяц, год	США	Другие страны
7 августа 1926 г.	1	0
31 декабря 1927 г.	156	0
31 декабря 1928 г.	1046	13
1 августа 1929 г.	2235	263
2 ноября 1929 г.	2 841	793

К концу 1929 года системой «Vitaphone» были оборудованы кинотеатры в 44 странах мира, в том числе: в Англии – 331, в Австралии – 139, в Канаде – 133, в Новой Зеландии – 29, в Аргентине – 15, во Франции – 12, в Италии – 11, в Швеции – 10, в Бразилии – 10.

В конце 20-х – начале 30-х годов по системе «Vitaphone» было снято более трёхсот звуковых фильмов, которые с успехом демонстрировались на экранах мира. Многие удачные фильмы, снятые в этой системе в 20-е годы, впоследствии были выпущены со звуковой фонограммой на плёнке.

SOUND-ON-FILM

Пионером оптической звукозаписи можно считать немецкого физика Эрнста Вальтера Румера (Ernst Walter Ruhmer), который в 1900 году начал проводить опыты по созданию фонограмм на плёнке и уже в 1901 году запатентовал «Photographophone» (Фотографофон) – аппарат фотографической записи звука.



Фотографофон Румера и оптическая фонограмма на 35-мм киноплёнке

В 1914 году финский изобретатель Эрик Тигерстедт (Eric Tigerstedt) получил немецкий патент на систему оптической звукозаписи на киноплёнке.



Дениз Михали (Denes Mihaly)

Первая удачная попытка записать звук и снять сцену на одной и той же киноплёнке была продемонстрирована 7 июня 1916 года венгерским инженером Денизом Михали (Denes Mihaly). В 1918 году он получил патент на своё изобретение оптической звукозаписи, получившей название «Projectophon» (Прожектофон). Дениз Михали был одним из известнейших инженеров-изобретателей в первой половине XX века не только в области звукового кино, но и телевидения. На его счету более 300 патентов в области звукозаписи и связи.

Tri-Ergon

Первая успешно реализованная в кинопроизводстве система синхронной оптической звукозаписи на киноплёнке принадлежит трём немецкими инженерам – Гансу

Фогту (Hans Vogt), Джозефу Бенедикту Энглию (Joseph Benedict Engl) и Иозефу Массоле (Joseph Massolle), названная ими «Tri-Ergon» («Три-Эргон» – Дело трёх). Первая демонстрация фильмов с оптической фонограммой переменной плотности по системе «Три-Эргон» состоялась 17 сентября 1922 г. в берлинском кинотеатре «Альгамбра кино» (Alhambra Kino).



Кадр из 42-мм позитивной копии с оптической фонограммой переменной плотности по системе «Три-Эргон»

К началу 30-х годов прошлого века усовершенствованная система «Три-Эргон» займёт доминирующее место среди систем звукозаписи в кинопроизводстве Европы.



Арнольд Поульсен (Arnold Poulsen) и Аксель Петерсен (Axel Petersen)

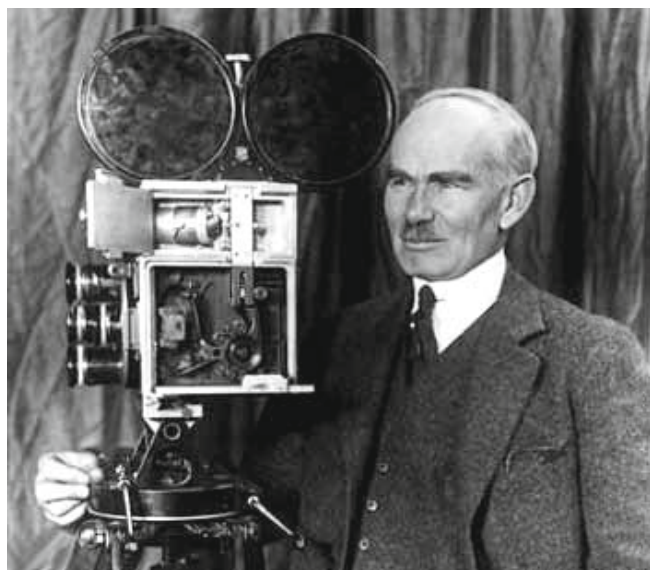
Датские инженеры Арнольд Поульсен (Arnold Poulsen) и Аксель Петерсен (Axel Petersen) в 1923 году запатентовали систему оптической записи переменной ширины, в которой звук записывался на отдельной киноплёнке и демонстрировался синхронно с изображением.

Phonofilm

Заявку на свой первый патент на систему синхронной оптической звукозаписи переменной плотности американский изобретатель Ли Де Форест (Lee De Forest) подал ещё в 1919 году.

В 1921 году Форест снял два первых экспериментальных звуковых фильма по своей системе Phonofilm – «Barking Dog» (Лай собаки) и «Flying Jenny Airplane» (Полёт аэроплана Джени).

Прожив почти год (с октября 1921 по сентябрь 1922 года) в Берлине и изучив европейские разработки в области оптической звукозаписи, в апреле 1922 года он анонсировал в прессе появление в ближайшем будущем его собственной системы синхронной звукозаписи. В ноябре 1922 года Ли Де Форест основал свою компанию «De Forest Phonofilm Company» в Нью-Йорке. А уже 12 марта 1923 года Ли Де Форест продемонстрировал прессе звуковые фильмы по системе «Phonofilm». Это были годы расцвета немого кино, и Голливуд «не заметил» изобретения Ли Де Фореста.



Ли Де Форест (Lee De Forest)

Поскольку Голливуд ещё не был готов к переходу на звук и жёстко контролировал крупные кинотеатральные сети, Де Форест организовал премьеру своих первых 18 короткометражных звуковых фильмов 15 апреля 1923 года в театре Риволи (Rivoli Theater) в Нью-Йорке, не входившего в систему крупных киносетей США.

Разработка и внедрение новых систем оптической звукозаписи в США в конце 20-х годов прошлого века постепенно вытеснили из кинопроизводства систему «Phonofilm». Сегодня в Британском киноинституте

и в коллекции Библиотеки Конгресса США хранится около 200 короткометражных звуковых фильмов, которые были сняты с записью звука по системе «Phonofilm».



Пригласительный билет на первый сеанс звукового кино (1929)

5 октября 1929 года в Ленинграде на Невском проспекте в доме 72, в бывшем кинотеатре «Кристалл-Палас», открылся первый в СССР звуковой кинотеатр, где начали демонстрировать озвученные фрагменты картины «Бабы рязанские» О. Преображенской и И. Правова. Перед началом программы выступил Александр Фёдорович Шорин – изобретатель Советского звукового кино, как было сказано в приглашении на первый сеанс.

Создание отечественной системы звукового кино началось почти одновременно в Москве Павлом Григорьевичем Тагером в 1926 году и в Ленинграде Александром Фёдоровичем Шориным.

26 ноября 1926 года в Научно-исследовательском институте физики и кристаллографии при Московском университете П.Г. Тагер делает доклад о начале работ над «Говорящим кино», и уже через два месяца 17 января 1927 года была подана первая заявка на Авторское свидетельство. За пять лет, с 1927 по 1932 год, П.Г. Тагер получил более 15 авторских свидетельств и патентов за разработки в области записи звука.

В марте 1928 года П.Г. Тагер в Москве проводит первую публичную демонстрацию воспроизведения звука по разработанной им системе «Тагефон». В сентябре того же года в Ленинграде проводится первая публичная демонстрация воспроизведения звука по системе А.Ф. Шорина «Шоринофон».

Созданный А.Ф. Шориным аппарат «Шоринофон» представлял собой систему механической звукозаписи на обычную 35-мм киноплёнку с помощью иглы, примерно так же, как происходит запись граммофонной пластинки. Но в отличие от последней, где запись идёт по спирали и во времени ограничена диаметром диска, использование киноплёнки позволяло делать непрерывные многочасовые записи. Для этого в портативный ап-

парат «Шоринофон» вставлялась кассета с закольцованной киноплёнкой. После каждого прохода кольца плёнки иголка смещалась на следующую дорожку. Таким образом, на трёхсотметровый рулон киноплёнки можно было производить запись в течение 8 часов.

Параллельно с «Шоринофоном» А.Ф. Шорин разработал и оптическую систему записи звука на киноплёнку. Оптическая фонограмма Шорина имела переменную ширину дорожки записи, а фонограмма в системе «Тагелефон» – переменную оптическую плотность. Павел Григорьевич Тагер разработал 9 моделей звукозаписывающих и 6 моделей звуковоспроизводящих аппаратов. В первых моделях звукозаписывающих «Тагелефонов» в качестве модулятора света был применён осциллограф с зеркальцем, и получалась фонограмма переменной ширины, двух- и трёхэлектродная ячейка Керра в более поздних моделях давала фонограмму переменной плотности.

ТИПЫ ОПТИЧЕСКИХ ФОНОГРАММ первой половины XX века
Оптическая переменная плотности (Variable Density Optical Sound):

Tri-Ergon (AG Tobis-Klangfilm, Германия); Тагелефон (СССР); De Forest Phonofilm, Fox Movietone, Western Electric (США).

Оптическая переменная ширины (Variable Area Optical Sound):

Selenophon (Австрия); AGA-Baltic (Германия); Система Шорина (СССР); Petersen & Poulsen, RCA Photophone, Fantasound (США).



П.Г. Тагер



А.Ф. Шорин

В 1929 году П.Г. Тагер, впервые в СССР, произвёл киносъёмку звуковой кинохроники на улице. А в Ленинграде, как уже было сказано выше, открылся первый звуковой кинотеатр, оборудованный по системе А.Ф. Шорина.

На следующий год, 6 марта, открылся первый звуковой кинотеатр и в Москве, где демонстрировалась «Звуковая сборная программа №1» режиссёров А. Роома и Г. Левкоева со звуком по системе А.Ф. Шорина. По этой же системе был снят и выпущен на экран 19 октября первый советский звуковой фильм-концерт «Олимпиада искусств» режиссёра В. Ерофеева.

И наконец, 1 июня 1931 года в московском кинотеатре «Колосс» (Большой зал консерватории) прошла пре-



Передвижная установка «Тагелефон» на московской улице

ьера первого советского звукового полнометражного игрового фильма «Путёвка в жизнь» режиссёра Н. Экка. Фонограмма фильма была записана по системе П.Г. Тагера «Тагелефон».

30 августа этого же года впервые в передачу Всесоюзного радио были включены фрагменты из документального радиофильма. Это было первое применение звукозаписи для радиовещания в СССР. Запись велась оптическими методами на киноплёнку на аппаратах П.Г. Тагера и А.Ф. Шорина.

С 1931 года отечественная киноиндустрия начала переходить на выпуск звуковых фильмов и, начиная с 1935 года, практически прекратила выпуск немых фильмов.

В 1941 году в эвакуации скончался Александр Фёдорович Шорин.

В годы Великой Отечественной войны Павел Григорьевич Тагер не только продолжил работы в области звукозаписи. Ему принадлежат важные изобретения в военной сфере, в том числе, он принимал участие в разработке новой формы снаряда с увеличенной пробивной силой.

Павлу Григорьевичу принадлежат первые разработки в области отечественного стереофонического кинематографа, начатые им ещё в 1937 году и продолженные в НИКФИ в 1948–1949 годах и заложившие теоретические основы для стереофонической записи-воспроизведения звука в 1960-е годы. Именно в эти годы под руководством П.Г. Тагера была разработана аппаратура для съёмки и показа широкоэкранный стереофонический фильм с кашетированным кадром. Результатом этих работ в 1949 году стала первая экспериментальная демонстрация широкоэкранный фильма с кашетированным кадром и стереофоническим звуком по системе П.Г. Тагера.

Подробнее о вкладе в науку и технику Павла Григорьевича Тагера, одного из тех, кто заставил «великий немой» заговорить, читайте в следующем номере нашего журнала. ■

Продолжение следует