

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время резко активизировалась работа по внедрению систем цифрового телевидения (ЦТВ), как в ТВ вещании, так и в других отраслях народного хозяйства. Для большинства систем ЦТВ являются необходимыми операции сжатия, цифровой фильтрации и обработки, что в целом усложняет решение задачи измерения основных сквозных характеристик и параметров систем цифрового ТВ. По существу, система ЦТВ распадается на элементы, способные независимо вносить искажения сквозной характеристики. Здесь в меньшей степени по сравнению с аналоговым вариантом, представлено накопление таких искажений, поэтому испытательные сигналы должны иметь в системах ЦТВ адресное назначение и обеспечить контроль характеристик заданного функционального элемента ЦТВ системы.

При переходе к цифровому телевизионному вещанию возрастает эффективность использования полосы пропускания каналов связи за счет увеличения удельной плотности спектра, характерного для сигналов цифрового телевизионного вещания. Это связано не только со сжатием спектров исходных телевизионных сигналов, но и со спецификой организации цифрового потока. При этом, увеличивается степень воздействия искажений в каналах связи на передаваемую видеоинформацию, т. к., образно говоря, возрастает «цена» искажений, внесенных в сигнал из-за несоответствия необходимым требованиям характеристик тракта передачи. В настоящее время существует необходимость создания испытательных сигналов для измерения характеристик каналов, удовлетворяющих условиям цифрового ТВ вещания. Основой создания этих сигналов являются измерительные методики, существовавшие для аналогового ТВ вещания.

Сложность объективного контроля качества изображений в системах цифрового телевидения определяет актуальность субъективных измерений. Необходимо разработать методы субъективной оценки качества видео изображений, ориентированные на увеличение эффективности субъективной относительной оценки с учетом специфики формирования изображений в системах со сжатием спектра ТВ сигнала. Изложенные в диссертации подходы к методикам субъективных измерений требуют дальнейшего изучения и проведения экспериментальных исследований для уточнения конкретных временных и пространственных характеристик, которые обеспечили бы оптимальное соотношение качества субъективных оценок, временных и финансовых затрат.

Большой вклад в решение указанных задач внесли работы Безрукова В. Н., Глассмана К.Ф., Дворковича В. П., Зубарева Ю. Б., Катаева С.И., Кривошеева М. И., Мкртумова А. С., Севальнева Л. А., Селиванова А. С., Хромого Б. П., и других, а также сотрудников лаборатории цифровой обработки ТВ сигналов (НИЛ-11 НИЧ МТУСИ, <http://www.nil-11.narod.ru>).

Цель и задачи работы.

Целью настоящей диссертационной работы является разработка и исследование эффективных методов измерения сквозных характеристик систем цифрового телевидения, разработка и исследование методик субъективных измерений, разработка и моделирование алгоритмов, реализующих предложенные методы.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие научно-практические задачи:

1. Проведен анализ методов измерения сквозных характеристик систем аналогового телевидения и методов измерения качества ТВ изображения в системах цифрового телевидения.

2. Проведен анализ особенностей передачи сигналов цифрового телевидения по стандарту DVB-S и специфики передачи данных в цифровом телевидении.

3. Разработаны способы измерения сквозных амплитудно-частотных характеристик и характеристик относительного времени распространения фазы (ОВРФ) систем телевидения с цифровым сжатием, обеспечивающие, за счет последовательного контроля с накоплением, увеличение точности оценок характеристик.

4. Определены основные факторы, влияющие на точность субъективных оценок качества ТВ изображения.

5. Разработаны методики, позволяющие увеличить достоверность субъективных оценок качества телевизионных изображений.

6. Проведены экспериментальные исследования по измерениям амплитудно-частотных характеристик, создана программа, моделирующая процесс измерения АЧХ.

Методы исследования. При решении поставленных задач в работе использованы современные методы радиотехники, включая элементы теории функций и функционального анализа, радиотехнических цепей, теории численного интегрирования и дифференцирования, линейной алгебры и геометрии, спектрального анализа Фурье, численного анализа и программирования.

Научная новизна работы.

Научная новизна настоящей работы заключается в следующем:

1. Проведен теоретический анализ особенностей передачи и определены условия правильной оценки уровня цифровых сигналов на выходе канала связи.

2. Разработан метод измерения частотных характеристик функциональных элементов систем ЦТВ, который может быть использован в системах ЦТВ, предназначенных для передачи видеоизображений по сетям кабельного ТВ, узкополосным каналам связи, системах видеоконференцсвязи, интернет-приложениях и др.

Экспериментальные исследования, проведенные на созданной в МТУСИ опытной

широкополосной гибридной учебно-испытательной сети кабельного телевидения, показали, что предлагаемый метод позволяет получать высокую достоверность результатов измерений. Данный метод может быть также использован в системах автоматизированного контроля характеристик в системах вещательного телевидения.

3. Разработан алгоритм обработки результатов измерений.

4. Разработаны методики, позволяющие увеличить достоверность субъективных оценок качества телевизионных изображений.

5. Создана программа, моделирующая процесс проведения измерения АЧХ предложенными методами.

Апробация результатов работы.

Результаты работы использованы при выполнении работ Лаборатории Цифровой обработки сигналов НИЛ-11 НИЧ МТУСИ. Основные положения диссертационной работы обсуждались на российских научно-технических конференциях и семинарах:

1. Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава, МТУСИ, Москва, 2000 г.

2. Пятый международный конгресс Национальной ассоциации телерадиовещателей (НАТ) "Прогресс технологий телерадиовещания", Москва, 2001 г.

Основные положения, теоретические выводы и рекомендации получены автором самостоятельно.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 11 научных работ. Материалы работы представлены также в отчетах по НИР НИЛ-11.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Работа изложена на страницах машинописного текста. Список литературы включает 79 наименований.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты анализа особенностей прохождения цифровых сигналов по каналам связи.

2. Результаты анализа методов измерения сквозных характеристик в системах цифрового телевидения.

3. Методика субъективной оценки качества ТВ изображений.

4. Результаты разработки методов измерения АЧХ и характеристик ОВРФ современных систем цифрового ТВ.

5. Результаты экспериментальных исследований по применению разработанного метода измерения сквозных характеристик систем телевидения в аппаратно-студийном комплексе современных широкополосных сетей кабельного телевидения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы настоящей диссертационной работы, охарактеризовано состояние исследуемого вопроса, определены цель, задачи и методы исследований. Сформулирована научная новизна, практическая значимость результатов работы и положения, выносимые на защиту. Представлены состав и краткое описание работы, приведены сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первой главе «Современные методы, алгоритмы преобразований и обработки ТВ сигналов в цифровом телевидении» проанализированы особенности передачи сигналов цифрового телевидения по стандарту DVB-C, которые заключаются в использовании квадратурной амплитудной модуляции (КАМ). Применение КАМ обуславливает необходимость увеличения точности в отражении относительных фазы и амплитуды несущего колебания на приемной стороне, что связано с точностью измерения комплексного коэффициента передачи канала связи. Проанализирована специфика передачи данных в цифровом телевидении. Рассмотрен актуальный при использовании цифрового телевидения вопрос передачи по каналам связи с ограниченными АЧХ прямоугольных радиоимпульсов. Для анализа искажений формы прямоугольных радиоимпульсов в канале необходимо рассмотреть варианты усечения по протяженности функций типа $\text{sinc}(\lambda)$. Функция ограничения $F_\lambda(\lambda)$, соответствующая варианту двухстороннего усечения функций типа $\text{sinc}(\lambda)$, описывается выражением:

$$F_\lambda(\lambda) = \frac{\omega_{\lambda 0}}{\pi} \frac{\sin(\omega_{\lambda 0} \lambda)}{\omega_{\lambda 0} \lambda} \cdot [\sigma(\lambda + \lambda_1) - \sigma(\lambda - \lambda_2)], \quad (1)$$

где $\sigma(\lambda + \lambda_1)$, $\sigma(\lambda - \lambda_2)$ - единичные функции (скачки).

В работе определен спектр функции (1):

$$S_F(i\omega_\lambda) = \frac{1}{2\pi} [Si(\lambda_1(\omega_\lambda + \omega_{\lambda 0})) + Si(\lambda_2(\omega_\lambda + \omega_{\lambda 0})) - Si(\lambda_1(\omega_\lambda - \omega_{\lambda 0})) - Si(\lambda_2(\omega_\lambda - \omega_{\lambda 0}))] + \frac{i}{2\pi} [Ci(\lambda_1(\omega_\lambda - \omega_{\lambda 0})) - Ci(\lambda_2(\omega_\lambda - \omega_{\lambda 0})) - Ci(\lambda_1(\omega_\lambda + \omega_{\lambda 0})) + Ci(\lambda_2(\omega_\lambda + \omega_{\lambda 0}))] \quad (2)$$

где $Si(x)$ - интегральный синус, а $Ci(x)$ - интегральный косинус.

Соотношение (2) описывает общий вариант спектра усеченных функций типа $\text{sinc}(\lambda)$. Частным случаем двухстороннего усечения функции ограничения формы $\text{Sinc}(\omega_{\lambda 0} \lambda)$ является случай полностью симметричного (по отношению к началу координат) усечения, когда $\lambda_1 = \lambda_2$.

Определены направления повышения точности оценок при приеме данных в цифровом телевидении. Передача по каналу связи с ограниченной частотной характеристикой прямоугольных импульсов равносильна полностью симметричному усечению соответствующего спектра, тогда из (2) получим:

$$U(t) = \frac{1}{\pi} \left[Si \left[\omega_{ГР} \left(t + \frac{\tau_u}{2} \right) \right] - Si \left[\omega_{ГР} \left(t - \frac{\tau_u}{2} \right) \right] \right]. \quad (3)$$

Изменения формы импульсов на выходе канала связи с ограниченной АЧХ с разными граничными частотами изображены на рис. 1. Можно заметить, что для диапазона значений $\omega_{ГР} \gg \omega_{ГР4} = 2\pi \cdot 2$ характерно возникновение колебательного процесса.

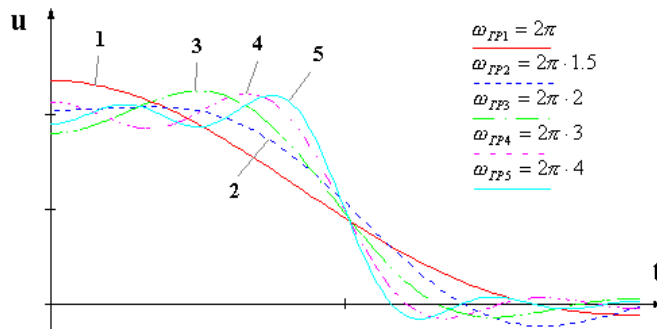


Рис. 1. Изменения формы импульсов на выходе канала связи с ограниченной АЧХ.

При оценке амплитуды прямоугольного импульса на выходе канала, если она производится в центре импульса, необходимо, чтобы амплитуда импульса оставалась неизменной в точке $t=0$. При $t=0$ выражение обратного преобразования Фурье переходит в следующее

$$U(t=0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (4)$$

Следовательно, для правильной оценки импульса в его центре на выходе канала

необходимо выполнить условие: $\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A \tau_u \frac{\sin(\omega \frac{\tau_u}{2})}{\omega \frac{\tau_u}{2}} \cdot \text{rect}(\omega, \omega_{ГР}) d\omega = A. \quad (5)$

После преобразований: $\text{Si}(\omega_{ГР} \frac{\tau_u}{2}) = \frac{\pi}{2}$. Обозначим $\omega_{ГР} \frac{\tau_u}{2} = x$, тогда $\text{Si}(x) = \frac{\pi}{2}. \quad (6)$

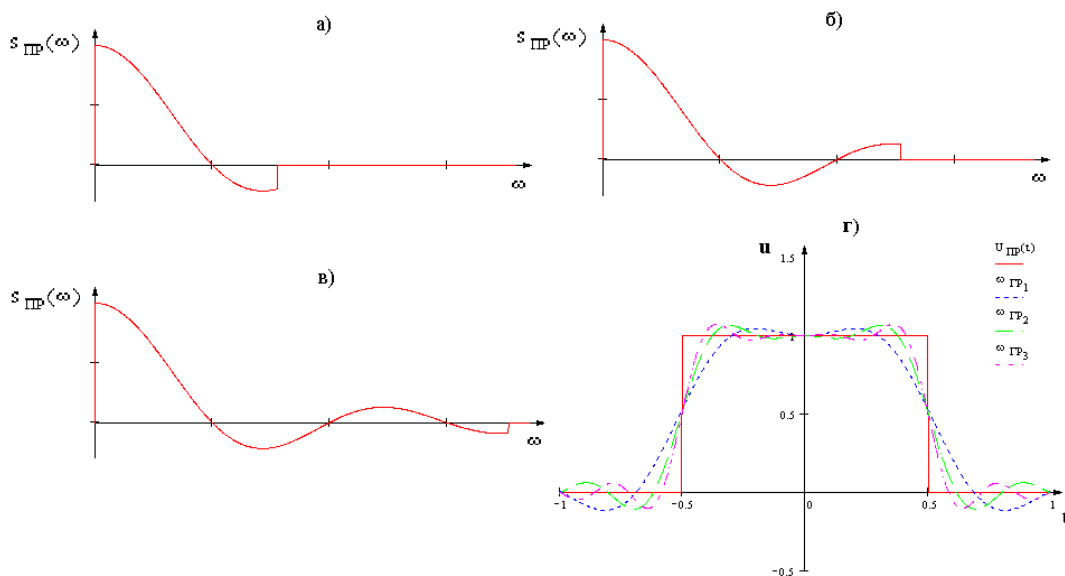


Рис. 2. Спектры прямоугольного импульса при граничных частотах а) $\omega_{ГР1}$, б) $\omega_{ГР2}$ в) $\omega_{ГР3}$; г) исходный прямоугольный импульс и изменения его формы при ограничении граничными частотами $\omega_{ГР1}$, $\omega_{ГР2}$ и $\omega_{ГР3}$.

Если выполняется условие (6), то оценка сигнала в центре импульса на выходе тракта будет правильной. При этом для нахождения значений $\omega_{ГР}$ требуется решить уравнение (6). Приведем первые пять значений $\omega_{ГР}$, которые удовлетворяют указанному условию: $\omega_{ГР1-5} = 3.856; 9.78; 15.956; 22.156; 28.428$ МГц, при $\tau_u = 1$ мкс.

На рис. 2 показаны в области положительных частот спектры прямоугольного импульса, после ограничения граничными частотами $\omega_{ГР1}$, $\omega_{ГР2}$ и $\omega_{ГР3}$, и изменения формы импульсов на выходе устройства с граничными частотами $\omega_{ГР1}$, $\omega_{ГР2}$ и $\omega_{ГР3}$. Сплошной линией показан исходный прямоугольный импульс, спектр которого неограничен. Как видно на рис. 2, значение всех импульсов в центре (точка $t=0$) равно 1.

Рассмотрены современные методы измерения характеристик канала, в частности, рассмотрен вариант контроля АЧХ линейных элементов тракта с помощью генераторов линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала.

Для такого варианта контроля АЧХ характерно интегральное усреднение ее структуры в зоне локализации текущего спектра ЛЧМ сигнала. Увеличение скорости изменения частоты в структуре ЛЧМ сигнала сопровождается заметным расширением области локализации спектра ЛЧМ сигнала, что и приводит в частотной области к интегральному усреднению уровня измеряемой АЧХ на каждом из значений текущей частоты по площади упомянутой области локализации.

Во второй главе «Субъективная оценка качества телевизионных изображений» разработана методика, позволяющая увеличить достоверность субъективных оценок качества телевизионных изображений.

Последовательность предъявлений в испытательном сеансе, рекомендуемая МСЭ для двухстимульного (ЕСВ) метода, показана на рис. 3.

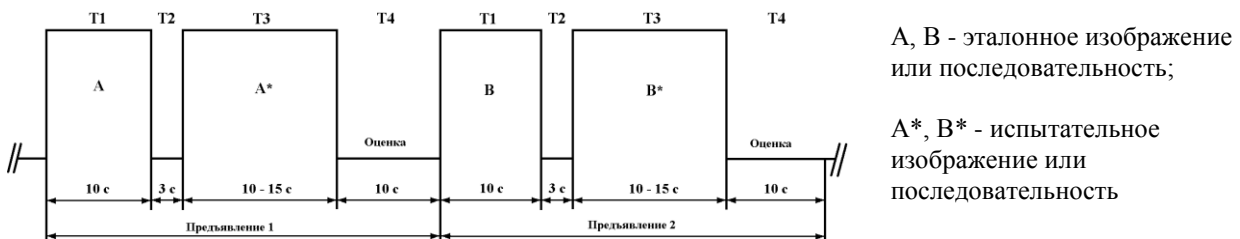


Рис. 3. Последовательность предъявлений испытательного материала.

Каждое предъявление состоит из четырех фаз: $T1 = 10$ с - эталонное изображение, $T2 = 3$ с - неярко серый фон, создаваемый видеосигналом с уровнем ≈ 200 мВ, $T3 = 10 - 15$ с - испытательное условие, $T4 = 10$ с - неярко серый фон.

Для улучшения достоверности результатов измерения предложена последовательность предъявлений в испытательном сеансе, показанная на рис. 4.

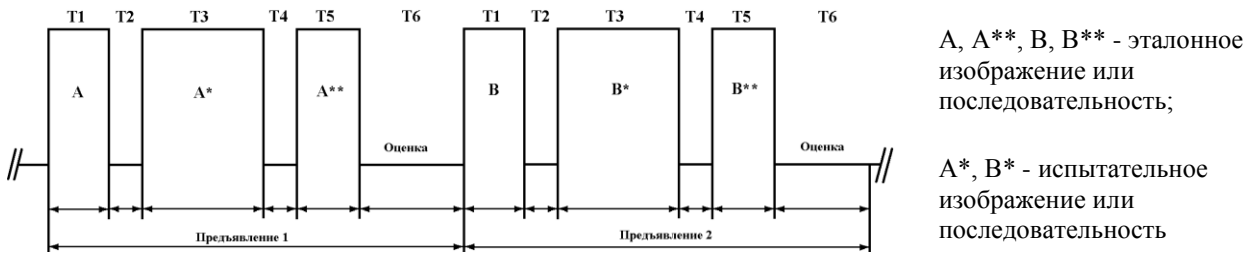


Рис. 4. Последовательность предъявлений испытательного материала, необходимая для увеличения достоверности оценок.

Каждое предъявление состоит из шести фаз: $T1 = T3/2 \cong 7$ с - эталонное изображение, $T2, T4, T6 \cong 3$ с - переходные фазы, $T3 \cong 15$ с - испытательное условие, $T5 = T3/2 \cong 7$ с - эталонное изображение.

При предлагаемой МСЭ последовательности предъявлений наблюдателям показывается испытательное условие после эталонного изображения. Отсутствие обратного порядка предъявления может ухудшить восприятие и относительную оценку материала. При данной же последовательности предъявлений наблюдателям показывается испытательное условие после эталонного изображения, и затем обратная последовательность. Таким образом, наблюдатели оценивают испытательное условие, помня эталон, а потом имеют возможность снова видеть эталонное изображение и переоценить запомненное испытательное условие.

Фазы $T2, T4, T6$, условно названные переходными фазами, для улучшения достоверности результатов измерения должны иметь особую структуру. Каждая из этих фаз должна быть разделена фактически на две фазы. В течение первой наблюдателям предъявляется фон, который представляет собой среднюю составляющую предшествующего изображения, а в течение второй – фон, представляющий собой среднюю составляющую последующего изображения. Описанная методика обеспечивает минимизацию переходных процессов в зрительной системе при переходе от фона к изображению и наоборот.

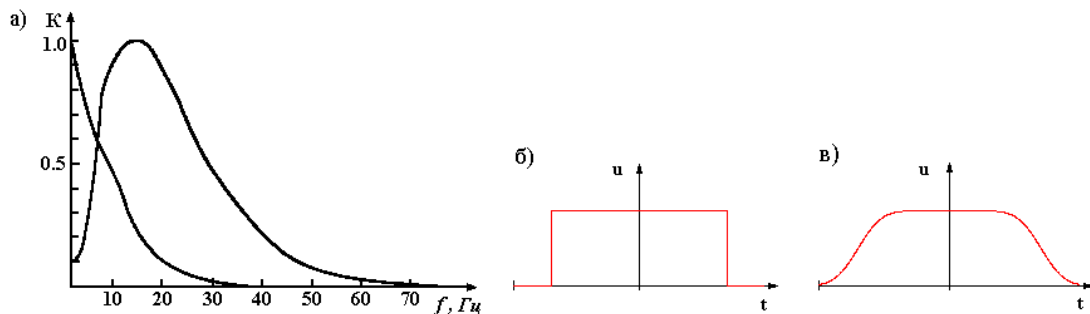


Рис. 5. а) Временная частотная характеристика зрительной системы человека,
 б) прямоугольный импульс,
 в) свертка прямоугольного импульса с гауссовским импульсом.

На рис. 5, а показана временная частотная характеристика (ВЧХ) зрительной системы человека. Улучшение условий наблюдения при субъективных измерениях достигается в том случае, когда значительные по энергии составляющие переходных воздействий

локализуются в диапазоне относительно низких временных частот (область спада уровня ВЧХ).

Предложено для минимизации переходного процесса при изменении фона от одного уровня к другому (такие изменения имеют место в каждой из фаз Т2, Т4, Т6) переходы осуществлять по функции $f_{np}(t)$, которая изображена на рис. 5, в и представляет собой результат свертки прямоугольного и гауссовского импульсов:

$$f_{np}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{np}(\xi)H(t-\xi)d\xi = \int_{-\tau_u/2}^{\tau_u/2} H(t-\xi)d\xi = \frac{A}{2} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{t+\tau_u/2}{\sqrt{2}a} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{t-\tau_u/2}{\sqrt{2}a} \right) \right),$$

где $R_{np}(t)$ – прямоугольный импульс (рис.5,б), $H(t)$ – гауссовский импульс.

Использование функции $f_{np}(t)$ в качестве перехода между фоновыми изображениями основывается на свойствах спектра этой функции. Спектр функции равен произведению спектров гауссовского импульса и прямоугольного импульса. Результирующий спектр ограничен по протяженности и локализован в области низких частот:

$$S_f(\omega) = AB\tau_u e^{-\omega^2/2b^2} \frac{\sin(\omega\tau_u/2)}{\omega\tau_u/2}. \text{ Можно сравнить этот спектр (рис. 6, сплошная линия) со}$$

спектром прямоугольного импульса (рис. 6, пунктирная линия).

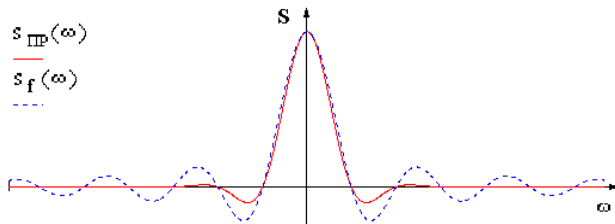


Рис. 6. Спектры функции $f_{np}(t)$ и прямоугольного импульса.

Спектр функции $f_{np}(t)$ убывает быстрее, чем спектр прямоугольной функции. Целесообразно найти частоту, на которой модуль максимума лепестка спектральной плотности переходного процесса при разных функциях перехода убывает на 60 дБ, что определяет мешающее воздействие данных составляющих спектра при видеоконтроле.

В результате анализа прямоугольной функции перехода при трех разных длительностях импульсов, в соответствии с предлагаемой последовательностью предъявлений в испытательном сеансе, получаем при $\tau_u = 3$ с, $f = 106$ Гц, при $\tau_u = 7$ с, $f = 46$ Гц, и при $\tau_u = 15$ с, $f = 21$ Гц.

Анализ для функции перехода $f_{np}(t)$ при трех разных длительностях импульсов, в соответствии с предлагаемой последовательностью предъявлений в испытательном сеансе, показал, что, определив диапазон изменения параметра b , можно найти: при $\tau_u = 3$ с, $f_{\max} = 3$ Гц, при $\tau_u = 7$ с, $f_{\max} = 2.7$ Гц, и при $\tau_u = 15$ с, $f_{\max} = 2.4$ Гц.

Значение временной частотной характеристики зрительной системы человека (рис. 5, а) возрастает до половины своего максимального значения на частоте $f = 6.25 \text{ Гц}$. Можно отметить, что расчетные значения частот для всех трех длительностей импульсов меньше, чем частота $f = 6.25 \text{ Гц}$. Расчетные значения частот для прямоугольной функции намного больше, чем указанная частота. Следовательно, в последнем случае при всех значениях длительности измерительного импульса значительные спектральные составляющие колебательного процесса попадают в основной для зрительной системы диапазон временных частот. Фиксация основной энергии спектра перехода в заданной области низких временных частот обеспечивает отсутствие заметности переходного процесса в зрительной системе, что увеличивает достоверность результатов измерений.

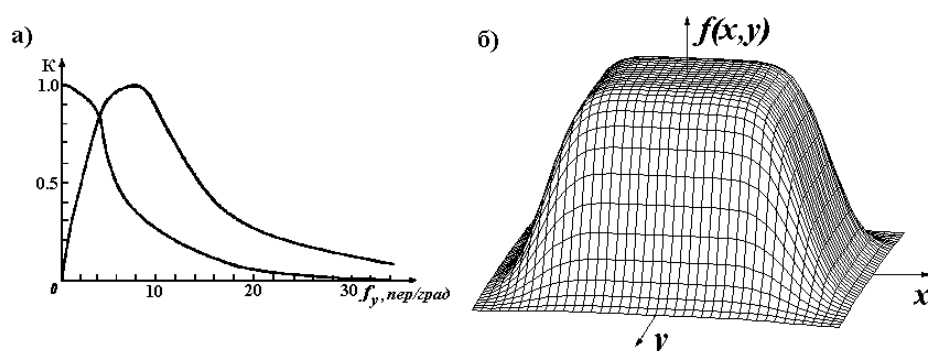


Рис. 7. а) Пространственная частотная характеристика зрительной системы человека, б) свертка прямоугольного параллелепипеда и двумерного гауссовского импульса.

В качестве помещения, предназначенного для наблюдения, МСЭ рекомендует комнату, три стены которой задрапированы белым материалом, а четвертая (задняя) стена задрапирована серым. Чтобы улучшить при этом условия наблюдения, необходимо минимизировать переходной процесс в зрительной системе, который создается переходом экран – стена помещения позади экрана. Пространственная частотная характеристика (ПЧХ) зрительной системы изображена на рис. 7, а.

Также, как и для временных частот, необходимо, чтобы значительные по энергии спектральные составляющие всех переходных воздействий не проникали в основной диапазон пространственных частот. То есть спектры переходных процессов должны быть ограничены и локализованы в области низких пространственных частот. Этому условию удовлетворяет функция $f(x,y)$, которая изображена на рис. 7, б, и представляет собой свертку прямоугольного параллелепипеда и двумерного гауссовского импульса:

$$f(x, y) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} R_{np}(\xi_x, \xi_y) H(x - \xi_x, y - \xi_y) d\xi_x d\xi_y = \int_{-c-d}^c \int_{-d}^d H(x - \xi_x, y - \xi_y) d\xi_x d\xi_y,$$

где $R_{np}(x,y)$ – прямоугольный параллелепипед, $H(x,y)$ – двумерный гауссовский импульс.

$$f(x, y) = \frac{A^2}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+c}{\sqrt{2a}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-c}{\sqrt{2a}} \right) \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y+d}{\sqrt{2a}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-d}{\sqrt{2a}} \right) \right).$$

Использование функции $f(x, y)$ в качестве фона основывается на свойствах спектра этой функции, который равен произведению спектров двумерного гауссовского импульса и прямоугольного параллелепипеда. Спектр функции $f(x, y)$ изображен на рис. 8, а:

$$S_f(\omega_x, \omega_y) = (AB\tau_u)^2 e^{-\omega_x^2/2b^2} e^{-\omega_y^2/2b^2} \frac{\sin(\omega_x\tau_u/2)}{\omega_x\tau_u/2} \frac{\sin(\omega_y\tau_u/2)}{\omega_y\tau_u/2}. \quad \text{Спектр прямоугольного}$$

параллелепипеда изображен на рис. 8, б: $S_{np}(\omega_x, \omega_y) = (B\tau_u)^2 \frac{\sin(\omega_x\tau_u/2)}{\omega_x\tau_u/2} \frac{\sin(\omega_y\tau_u/2)}{\omega_y\tau_u/2}$.

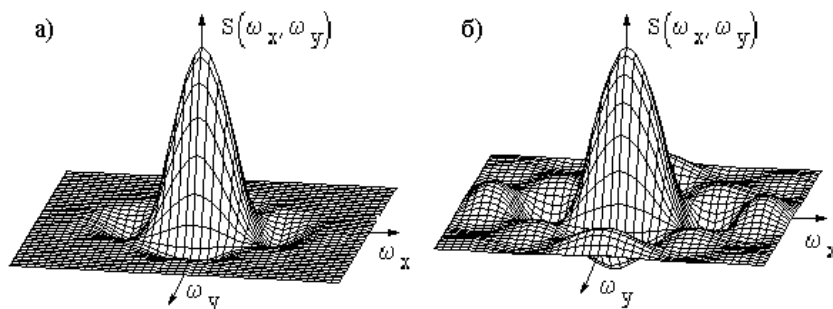


Рис. 8. Пространственные спектры воздействий: а) спектр свертки прямоугольного параллелепипеда с двумерным гауссовским импульсом, б) спектр прямоугольного параллелепипеда.

Третья глава «Разработка методов формирования испытательных сигналов для контроля сквозных характеристик систем телевидения с цифровым сжатием» посвящена анализу и разработке способов измерения амплитудно-частотных характеристик и характеристик относительного времени распространения фазы (ОВРФ) и способов увеличения точности измерения амплитудно-частотных характеристик.

В диссертации предлагается способ измерения амплитудно-частотных характеристик, основанный на формировании одиночных синусквадратичных (СК) радиоимпульсов. Преимуществами СК импульсов является уменьшение амплитуды и увеличенная частота колебаний огибающей спектра, соответствующая побочным лепесткам, по отношению, например, к прямоугольной форме огибающей. За счет этого увеличивается точность анализа, что обусловлено уменьшением зоны взаимного компенсационного воздействия смежных побочных лепестков спектра СК импульса. Спектры синусквадратичного импульса и прямоугольного импульса представлены на рис. 9.

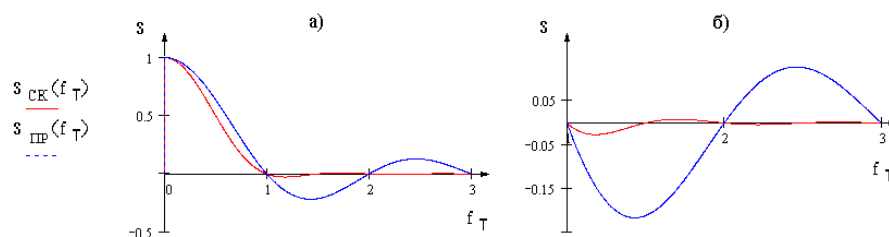


Рис. 9. Спектры синусквадратичного и прямоугольного импульсов.

На входе функциональных элементов ТВ системы при этом формируют эквивалентные по амплитудам и длительностям СК импульсы (рис. 10, а).

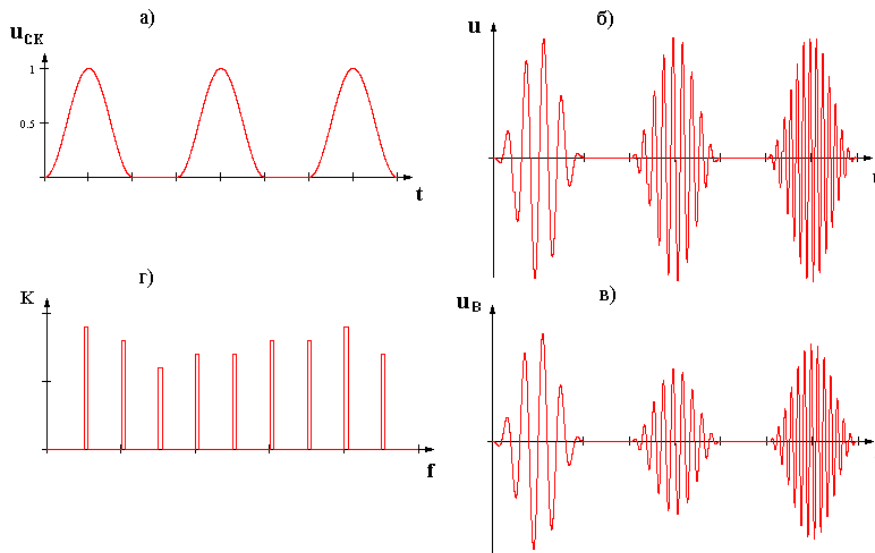


Рис. 10. Последовательности импульсов при контроле АЧХ функциональных элементов систем телевидения: а) последовательность одиночных СК импульсов, б) последовательность одиночных СК радиоимпульсов, в) последовательность одиночных СК радиоимпульсов на выходе тракта передачи, г) результирующие отсчеты, отражающие изменения АЧХ в пределах рабочего диапазона частот.

Формируют сигналы поднесущих таким образом, чтобы их частоты отличались на

$$\Delta F = \frac{F}{n-1},$$

где F – полоса частот, в которой производятся измерения, n – количество точек измерения.

Сформированные сигналы поднесущих модулируют СК импульсами. Полученные СК радиоимпульсы (рис. 10, б) вводят в ТВ сигнал на входе исследуемого ТВ тракта. В ТВ тракте радиоимпульсы подвергаются искажениям (рис. 10, в). Искажения проявляются в относительных изменениях амплитуды и местоположения радиоимпульса на временной оси. Изменения амплитуды радиоимпульсов обусловлено влиянием АЧХ тракта передачи. Изменения местоположения радиоимпульсов на временной оси - различной относительной задержкой радиоимпульсов, отличающихся по частоте поднесущей, и, следовательно, связано с влиянием характеристик ОВРФ. На выходе исследуемого видеотракта выделяют, демодулируют и интегрируют отдельные радиоимпульсы. Разделением во времени и интегрированием импульсов добиваются того, чтобы на результаты измерения АЧХ не влияла нелинейность ФЧХ видеотракта. Полученные результирующие отсчеты (рис. 10, г) запоминают, затем по ним восстанавливают огибающую АЧХ ТВ тракта.

Здесь используется свойство прямого преобразования Фурье: $\int_{-\infty}^{\infty} U_B(t) dt = \Phi_B(0)$, где

$U_B(t)$ - сигнал на выходе тракта, т.е. сигнал на выходе амплитудного детектора, $\Phi_B(\Omega)$ - спектр сигнала на выходе тракта. Поскольку спектр испытательного сигнала на выходе исследуемого тракта равен произведению спектра испытательного сигнала на АЧХ $S_B(\omega) = S(\omega)K_T(\omega)$, то значение спектра детектированного испытательного сигнала при $\omega=0$

пропорционально значению исследуемой АЧХ. Интегрируя отдельные радиоимпульсы получают отсчеты, пропорциональные измеряемой АЧХ.

Преимуществом данного метода является простота реализации конкретных устройств, которые могут обеспечивать высокую точность измерения АЧХ в заданном участке частотного диапазона видеотракта.

Представляет интерес случай измерения АЧХ по точкам, в котором функция ограничения испытательного сигнала по длительности имеет форму разностного гауссовского импульса. При этом, ограничение участка функции АЧХ будет осуществляться взвешивающим «окном». Спектр такого испытательного сигнала имеет также форму разностного гауссовского импульса.

Если y – отношение длительностей двух гауссовских импульсов ($y > 0$), а x – отношение амплитуд двух гауссовских импульсов ($0 < x < 1$), то разностные гауссовские импульсы определяются выражением:

$$F(t) = \frac{1}{1-x} \left[\frac{A}{\sqrt{2\pi} \cdot a} e^{-\frac{t^2}{2a^2}} - x \frac{A}{\sqrt{2\pi} \cdot ay} e^{-\frac{t^2}{2(ay)^2}} \right].$$

$$\text{Спектр таких импульсов: } S(\omega) = \frac{1}{1-x} \left[A \cdot e^{-\frac{\omega^2 a^2}{2}} - x \cdot A \cdot e^{-\frac{\omega^2 (ay)^2}{2}} \right].$$

Исследована связь между длительностью разностного гауссовского импульса и шириной его спектра по методике, введенной в книге А. А. Харкевича «Спектры и анализ». Здесь найден теоретический минимум, который может принять значение $\Delta f \cdot \Delta t$, и показано, что для гауссовского импульса $K = \Delta f \cdot \Delta t = 0.048$. Эта величина очень близка к теоретическому пределу. Для синусквадратичного импульса $K = 0.123$, т.е. результат примерно втрое больше теоретического минимума. Интерес для рассмотрения с точки зрения увеличения точности измерений представляют лишь случаи, когда $y > x$. При этом, значение импульса в точке пересечения с осью симметрии больше нуля. Фактически всевозможные разностные гауссовские импульсы делятся на два типа в соответствии со значением, которое принимает параметр y : 1) $y < 1$, 2) $y > 1$.

В первом случае, когда $y < 1$, спектр разностного гауссовского импульса имеет точки пересечения с осью абсцисс, то есть у этого спектра есть основной и два боковых лепестка. Это свойство выгодно отличает спектр указанного импульса от спектра гауссовского импульса, который не имеет точек пересечения с осью абсцисс. Избирательные свойства спектров разностных гауссовских импульсов при $y < 1$ лучше избирательных свойств обычного гауссовского импульса. Наличие в рассматриваемом спектре боковых лепестков отрицательной полярности уменьшает интегральные искажения при измерениях АЧХ. Минимальное значение K для рассматриваемых импульсов равно 0.0477.

Во втором случае, когда $y > I$, сам разностный гауссовский импульс имеет точки пересечения с осью абсцисс. Эти импульсы интересны тем, что минимальное значение K для рассматриваемых импульсов равно 0.047, что ближе к теоретическому минимуму, чем значение K для гауссовского импульса. Рзностные гауссовские импульсы при разных параметрах x и y , для которых $K=0.047$, практически не отличаются друг от друга, и их спектры соответственно совпадают. Такие импульсы и их спектры изображены на рис. 11.

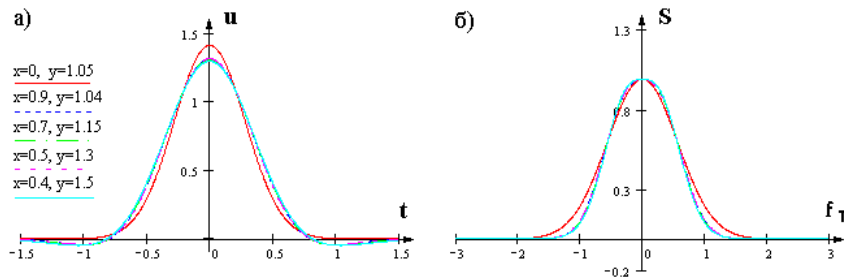


Рис. 11. а) разностные гауссовские импульсы, для которых $K=0.047$;
 б) спектры соответствующих разностных гауссовских импульсов;
 сплошной линией обозначен гауссовский импульс и его спектр.

Импульсы, для которых $K=0.047$ можно считать оптимальными для использования их в качестве измерительных сигналов, так как эти импульсы позволяют при минимальной длительности импульса иметь наименьшую ширину спектра. Поскольку рассматриваемые импульсы являются знакопеременными, использование таких импульсов уменьшает интегральные искажения, которые возникают в результате интегрирования импульса на выходе канала в соответствии с предлагаемым в диссертации методом.

В четвертой главе «Результаты разработки устройств формирования испытательных сигналов, моделирования и экспериментальных исследований» разработаны устройства в соответствии с предлагаемыми методами измерения, приведены результаты разработки программного обеспечения для моделирования контроля сквозных характеристик систем ТВ, приведены результаты экспериментальных исследований.

Алгоритм модели устройства измерения АЧХ реализован на языке Delphi. В описании алгоритма используется синтаксис и семантика Delphi. Модель устройства измерения разбивается на три части в соответствии с используемым методом измерения. Каждому методу измерения соответствует свой программный модуль.

Кроме моделирования процесса измерения АЧХ, проводились реальные измерения АЧХ обратного канала КСТВ с помощью последовательностей прямоугольных радиоимпульсов в соответствии с предлагаемым в диссертации методом измерения. Необходимо отметить, что с учетом погрешности измерений, вызванной неточностью характеристик генераторов импульсов, осциллографа и восприятия зрительной системой изображения на экране осциллографа, результаты измерений в достаточной степени коррелированы. На рис. 12,а пунктирными линиями показаны несколько оценок АЧХ

обратного канала и сплошной линией среднее значение измеряемой величины. На рис. 12, б показана дисперсия полученных оценок АЧХ.

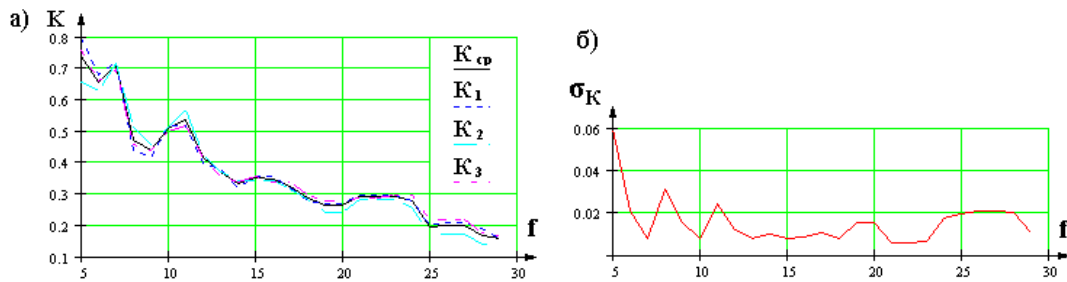


Рис. 12. а) оценки АЧХ обратного канала и среднее значение измеряемой величины, б) дисперсия полученных оценок АЧХ.

Максимальный разброс оценок измеряемой величины находится в диапазоне частот от 5 до 9 МГц. Экспериментальные данные полностью согласуются с теоретическими выкладками и результатами, полученными при программном моделировании процесса измерения АЧХ канала с помощью предложенных в диссертации методов.

В заключении приводятся основные выводы по результатам выполненной работы.

В приложении 1 приведен текст программы, моделирующей процесс измерения АЧХ предложенными в работе способами.

В приложении 2 приведены иллюстрации к работе программного обеспечения для моделирования контроля сквозных характеристик систем телевидения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ методов измерения сквозных характеристик систем аналогового телевидения и методов измерения качества ТВ изображения в системах цифрового телевидения, который показал, что при переходе к цифровому телевизионному вещанию резко увеличивается степень воздействия искажений в каналах связи на передаваемую видеoinформацию.

2. Проведен анализ особенностей передачи сигналов цифрового телевидения по стандарту DVB-C и специфики передачи данных в цифровом телевидении. В результате анализа выявлено, что применение КАМ обуславливает необходимость увеличения точности в отражении фазы и амплитуды несущего колебания, что связано с точностью измерения комплексного коэффициента передачи канала связи. Кроме того, необходимо использовать тонкую оптимизацию параметров частотных характеристик предварительной фильтрации передаваемых данных, которая должна учитывать особенности возможных спектральных плотностей передаваемых сигналов и возможные варианты вида АЧХ каналов связи.

3. Разработаны способы измерения сквозных амплитудно-частотных характеристик и характеристик относительного времени распространения фазы (ОВРФ) систем телевидения с цифровым сжатием. Предложен способ измерения АЧХ, основанный на формировании одиночных синусквадратичных радиоимпульсов. Преимуществом СК импульсов является

уменьшение амплитуды и увеличенная частота колебаний огибающей спектра, соответствующая побочным лепесткам, по отношению, например, к прямоугольной форме огибающей, что в данном случае увеличивает точность анализа за счет уменьшения зоны взаимного компенсационного воздействия смежных побочных лепестков спектра.

4. Разработаны методики, позволяющие увеличить достоверность субъективных оценок качества телевизионных изображений. Предложено внести изменения в рекомендуемую МСЭ последовательность предъявлений в испытательном сеансе. При последовательности предъявлений, предлагаемой в диссертации, наблюдателям предъявляется испытательное условие после эталонного изображения, и затем обратная последовательность. При этом, наблюдатели оценивают испытательное условие, помня эталон, а потом имеют возможность снова видеть эталонное изображение и переоценить запомненное испытательное условие.

5. В последовательности предъявлений в испытательном сеансе при субъективных измерениях определены переходные фазы, которые для улучшения достоверности результатов измерения должны иметь особую структуру. Каждая из этих фаз разбивается на две части. В течение первой наблюдателям предъявляется фон, который представляет собой среднюю составляющую предшествующего изображения, а в течение второй – фон, представляющий собой среднюю составляющую последующего изображения. Для минимизации мешающего действия переходного процесса (от одного фона к другому) необходимо, чтобы этот переход имел вид функции, представляющей собой свертку единичного скачка и гауссовского импульса.

6. Предложено улучшение условия наблюдения касающегося помещения, предназначенного для наблюдения, для чего предложено минимизировать переходной процесс в зрительной системе, который создается переходом экран – стена помещения позади экрана. Для того, чтобы значительные по энергии спектральные составляющие переходных воздействий не проникали в диапазон визуально-контролируемых пространственных частот, необходимо, чтобы переход осуществлялся по функции, которая представляет собой свертку прямоугольного параллелепипеда и двумерного гауссовского импульса.

7. Проведены экспериментальные исследования по измерениям амплитудно-частотных характеристик, создана программа, моделирующая процесс измерения амплитудно-частотных характеристик. Экспериментальные данные полностью согласуются с теоретическими выкладками и результатами, полученными при программном моделировании процесса измерения АЧХ канала с помощью предложенных в диссертации методов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Кардонская И. Л. Вопросы измерения амплитудно-частотных характеристик видеотрактов систем телевидения. Депонировано в ЦНТИ “Информсвязь” Сб. № 2170 св. 2000 от 14.04.2000г.
2. Кардонская И. Л. Использование линейно-частотно-модулированного сигнала для измерения амплитудно-частотных характеристик видеотрактов систем телевидения. Депонировано в ЦНТИ “Информсвязь” Сб. № 2170 св. 2000 от 14.04.2000г.
3. Кардонская И. Л. Возможности увеличения точности измерения сквозных АЧХ каналов связи. Тезисы доклада. Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава. ЗАО “Информсвязьиздат” М. МТУСИ, 2000 г.
4. Кардонская И. Л. Методы измерения АЧХ на отдельных частотах. Тезисы доклада. Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава. ЗАО “Информсвязьиздат” М. МТУСИ, 2000 г.
5. Безруков В. Н., Кардонская И. Л. Способ измерения АЧХ, основанный на формировании n периодических последовательностей синусквадратичных и косинусквадратичных радиоимпульсов. Тезисы доклада. Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава. ЗАО “Информсвязьиздат” М. МТУСИ, 2000 г.
6. Кардонская И. Л. Субъективная оценка качества телевизионных изображений. Депонировано в ЦНТИ “Информсвязь” Сб. № 2190 св. 2001 от 22.05.2001г.
7. Кардонская И. Л. Измерения характеристики относительного времени распространения фазы. Депонировано в ЦНТИ “Информсвязь” Сб. № 2190 св. 2001 от 22.05.2001г.
8. Безруков В. Н., Кардонская И. Л. Контроль амплитудно-частотных характеристик видеотрактов систем телевидения. Журнал “Метрология и измерительная техника в связи” № 3, 2001 г.
9. Безруков В. Н., Кардонская И. Л. Определение характеристики относительного времени распространения фазы. Журнал “Метрология и измерительная техника в связи” № 5, 2001 г.
10. Безруков В. Н., Ульянов С. В., Кардонская И. Л. Относительная субъективная оценка качества телевизионных изображений. Тезисы доклада. Пятый международный конгресс НАТ “Прогресс технологий телерадиовещания”, Москва, 2001 г.
11. Безруков В. Н., Ульянов С. В., Кардонская И. Л. Специфика субъективного контроля качества телевизионных изображений. Журнал “Метрология и измерительная техника в связи” № 6, 2001 г.