

На правах рукописи

Родионцев Алексей Александрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ СВЕТОИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ
НА БАЗЕ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ БРЭГГА**

Специальность:

01.04.03 – Радиофизика

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Санкт-Петербург

2001

Работа выполнена в Санкт-Петербургском Государственном
Техническом Университете

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор Дудкин В.И.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Есепкина Н.А.

кандидат физико-математических наук Рогов А.Н.

Ведущая организация:

Институт Аналитического Приборостроения РАН

Защита диссертации состоится 20 декабря 2001г. в 15 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.229.01 в Санкт-Петербургском Государственном Техническом Университете по адресу: 195251 г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, 2^{-й} учебный корпус, аудитория 257.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 2001г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

проф. Титов А.И.

Общая характеристика работы.

Актуальность темы.

В настоящее время оптические методы обработки информации находят все более широкое применение в различных областях науки. Достоинствами этих методов, обуславливающими их широкое распространение, являются простота реализации важнейших интегральных преобразований, таких как преобразование Фурье, свертка, корреляция и т.д., возможность обработки больших объемов информации в реальном времени, широкие функциональные возможности.

Ключевым компонентом систем, осуществляющих оптическую обработку информации, является пространственно-временной модулятор света (ПВМС), обеспечивающий перенос исходной информации на световой носитель путем модуляции параметров оптического пучка. Среди ПВМС с электронным входом наибольшее распространение получили акустооптические устройства (АОУ), преобразующие электронный радиочастотный сигнал на входе в пространственно-временное распределение амплитуды и фазы светового пучка на выходе с использованием эффекта дифракции света на акустических волнах.

АОУ используются во множестве систем различного назначения. Эти системы осуществляют скоростное сканирование лазерным пучком, обработку широкополосных сигналов в реальном масштабе времени и т.д. Широкий диапазон возможных применений этих устройств является причиной широкого разнообразия видов этих устройств, разработанных за последние два десятилетия; эти разработки продолжаются и в настоящее время. АОУ могут быть классифицированы по назначению, характеристикам, принципам построения, применяемой для акустооптической ячейки активной среде и т.д.

Очевидно, сравнение между собой различных типов АОУ представляет собой непростую проблему. Каждая из физических характеристик устройств

различных типов может рассматриваться и как достоинство, и как фактор, ограничивающий возможности. Между тем практически все виды АОУ предназначены для передачи и обработки информации. Следует отметить, что хотя исследованию АОУ посвящено множество работ, лишь в одной из них ставится вопрос о необходимости количественной оценки информационных возможностей этих устройств. Поэтому для более полного и унифицированного описания возможностей АОУ возникает актуальная задача определения их характеристик с позиции их способности преобразовывать, адресовывать, обрабатывать, и передавать информацию.

Цель работы.

Целью настоящей работы является исследование информационных свойств систем, в которых применяется ячейка Брэгга. Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи:

- определить основные источники и типы шумов в типовых схемах АОУ;
- разработать критерий разрешения для каждого из этих типов, который учитывал бы шумы, существующие в данной системе, и требуемую условиями задачи вероятность распознавания;
- разработать методику измерения разрешения согласно данному критерию, создать лабораторный образец измерительного стенда и провести измерения разрешения реальных устройств.

Научная новизна.

- Разработан критерий разрешения АОУ, учитывающий особенности преобразования информации и зависимость последней от уровня шумов. Подобный критерий разрешения может иметь несколько отличные друг от друга формулировки в зависимости от типа и предназначения устройства, но суть его остается неизменной – разрешение определяется как функция от отношения сигнал/шум и требуемой вероятности разрешения.
- Показано, что традиционный критерий разрешения является частным случаем информационного.

- Разработан и практический осуществлен лабораторный образец измерительного стенда для определения разрешения согласно разработанному критерию. Проведены измерения разрешающей способности стандартных АОУ, таких как акустооптический (АО) спектроанализатор и двухкоординатный дефлектор.
- Проведены исследования изменения информационной емкости апертуры акустооптической ячейки Брэгга при изменении размеров апертуры.

Практические результаты.

Результаты исследований показали целесообразность разработки нового критерия разрешения, исходящего из основных принципов передачи и обработки информации и учитывающего шумовые свойства системы. Результаты и рекомендации использовались при проведении научно-исследовательских работ по определению информационных характеристик АОУ в ОАО «Научные приборы» (г.Санкт-Петербург).

Исследования, проведенные в рамках данной работы, использовались при разработке двухкоординатной лазерной проекционной системы формирования изображений на большом экране в ОАО «Научные приборы» и акустооптического панорамного приемника-спектрометра в ООО «Баск».

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. С точки зрения анализа процесса прохождения информации АОУ может быть представлено в виде последовательности звеньев, каждому из которых соответствует конкретный физический процесс; каждому из этих звеньев приписывается входной уровень сигнала, входное отношение сигнал/шум и коэффициенты передачи сигнала и изменения отношения сигнал/шум от входа звена к выходу.
2. Разрешение акустооптического устройства зависит от уровня шума, сопровождающего сигнал в устройстве; числа передаваемых сигналом градаций яркости; геометрических характеристик устройства и может

принимать различные значения в зависимости от допустимых значений вероятности неразличения единицы информации.

3. Информационная емкость АОУ нелинейно зависит от числа передаваемых градаций; при этом существует оптимальное число градаций, определяемое требуемой вероятностью разрешения, для которого информационная емкость устройства максимальна.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались в ходе следующих конференций:

1. International Meeting «Advances in Acousto-Optics'97», – St.Petersburg, June 1997
2. European Optical Society Topical Meeting on Diffractive Optics, – Savonlinna, Finland, July 7-9, 1997
3. SPIE 42nd Annual Meeting and Exhibition, – San Diego, July 1997
4. International Symposium on Optical Information Science & Technology, – Moscow, Russia, August 27-30, 1997.
5. Третья межведомственная научно-техническая конференция «Проблемные вопросы сбора, обработки и передачи информации в сложных радиотехнических системах», – Санкт-Петербург, Пушкинское ВУРЭ ПВО, 18 - 19 ноября 1997 года.
6. International Meeting «Advances in Acousto-Optics'98», – Gdansk-Jurata, Poland, May 1998
7. SPIE 43rd Annual Meeting and Exhibition, – San Diego, July 1998.
8. SPIE 44th Annual Meeting and Exhibition, – Denver, July 1999.
9. International Workshop «Optoelectronic and Hybrid Optical/Digital Systems for Image/Signal Processing – ODS'99», – Lviv, Ukraine, September 1999.

Публикации.

Результаты проведенных исследований опубликованы в 14 работах в виде 11 статей и 3 тезисов докладов. Список работ приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка цитированной литературы из 149 наименований, перечня научных трудов. Диссертация изложена на 195 страницах машинописного текста.

Содержание работы.

Введение

Во введении обоснована актуальность темы выбранной работы, сформулирована ее цель и определены конкретные задачи. Приведены основные положения, выносимые на защиту. Представлена научная новизна и практические результаты работы. Кратко описана структура диссертационной работы.

Первая глава

В первой главе приведены краткие сведения по основным традиционным положениям акустооптики, касающимся измерения информационных параметров АО систем. Рассмотрены принцип действия базовых типов подобных систем, таких как спектроанализатор, дефлектор и перестраиваемый фильтр. Показано, что практически во всех системах для определения основного информационного параметра, коим является разрешение, используется критерий Рэлея. Основным фактором ограничения применимости данного критерия является то, что разрешение по Рэлею связано лишь с геометрическими характеристиками разрешаемых пятен; в то же время присутствующие в любой системе шумы, также влияющие на разрешение, им никак не учитываются. Кроме того, применение критерия

Рэля существенно ограничено при разрешении многоградационных сигналов. Обосновано положение о необходимости введения нового критерия разрешения, в котором принималось бы во внимание отношение сигнал/шум в анализируемой системе.

В данной главе также подробно рассмотрено одно из направлений применения светоинформационных систем (СИС), обрабатывающих большое количество информации, а именно системы голографической записи радиосигналов с АО вводом сигнала. Проанализированы основные сложности, возникающие в ходе практического осуществления подобных систем. Также в данной главе приведены сведения об основных материалах, применяемых в качестве активных сред в АО устройствах, проанализированы их преимущества и недостатки.

Вторая глава

Вторая глава посвящена теоретическому описанию предложенного информационного критерия разрешения и его модификаций для различных АО СИС. Поскольку необходимость введения данного критерия мы обосновывали наличием в любом АО устройстве шумов, то в первой части данной главы рассматриваются основные источники шумов в АОУ. По своей природе эти шумы можно разделить на три вида: электрические, оптические и акустические. Первые из них обязаны своему появлению флуктуациям движения носителей электрического заряда и дискретности этого заряда – тепловые и дробовые шумы. Они возникают в электронных компонентах СИС – усилителе, цепях согласования, фоторегистрирующем устройстве и т.д. Второй вид шумов обусловлен статистическим характером оптического излучения и случайным характером его рассеяния; его источник – генератор излучения и оптический тракт, в том числе и звукопровод АО ячейки. Третий вид шумов возникает при возбуждении и распространении акустической волны в ячейке; их причина – флуктуация числа генерируемых фононов, случайное рассеяние на дефектах звукопровода и тепловые колебания

молекул. Поскольку в настоящее время полная статистическая теория прохождения и обработки сигнала и шума в АО СИС еще не создана, то в данной работе мы ограничились лишь описанием основных источников шумов, а также привели пример анализа прохождения и обработки смеси сигнала и шума одним из звеньев АО СИС – матричным фотодетектором.

Таким образом, на выходе любого АОУ мы будем иметь смесь полезного сигнала и шума. Критерий разрешения в этом случае должен будет описывать различие двух сигналов на фоне шумов. Нами был предложен следующий информационный критерий разрешения: *два элемента могут считаться разрешенными, если в каждом из них независимо может быть разрешено заданное число градаций яркости с заданной вероятностью, определяемой отношением сигнал/шум.* Эти величины определяются в каждом случае индивидуально в соответствии с требованиями заказчика устройства.

Будем считать, что пользователь АОУ должен решить задачу, в рамках которой необходимо различать n градаций сигнала с вероятностью P . Пусть дифрагированный пучок света имеет в сечении гауссову форму. В этом случае распределение интенсивности света вдоль расположения двух разрешаемых элементов будет представлять собой сумму двух гауссовых кривых. Расстояние между центрами двух соседних элементов равно x_1 . Поскольку по условиям задачи необходимо передать n градаций, первый максимум распределения должен в $n-1$ раз превышать второй максимум (если пренебречь влиянием «хвостов» составляющих гауссовых кривых). Данное распределение интенсивности света, описывается формулой

$$I(x) = I_0 \exp(-x^2/2s^2) + (I_0/(n-1)) \exp[-(x-x_1)^2/2s^2], \quad (1)$$

где s – дисперсия каждой из гауссовых функций. Глубина провала между двумя максимумами ΔI должна быть рассчитана из (1) исходя из того, что она равна разности между третьим и вторым экстремумами. Для упрощения расчетов соотношения между ΔI и x_1 была введена специальная функция –

«функция провала»,– зависящая от относительного расстояния между центрами двух соседних элементов $x_1/2s$ и числа градаций. Эта функция может быть легко протабулирована.

Две соседние точки могут считаться разрешенными, если для каждого отдельного измерения величина ΔI будет положительной с вероятностью P . При большом числе измерений множество результатов измерения этой величины оказывается распределенным по нормальному закону со средним значением ΔI_{av} и дисперсией σ_n , которые описывают соответственно сигнал и шум. Тогда вероятность различения двух элементов

$$P = \int_0^{+\infty} \exp[-(y - \Delta I_{av})^2 \psi^2 / 2 \Delta I_{av}^2] dy, \quad (2)$$

где y описывает распределение измерений глубины провала с определенной плотностью вероятности, а $\psi = \Delta I_{av} / \sigma_n$ – отношение глубина провала/шум (в дальнейшем именуемое «сигнал/шум», поскольку измеряемой величиной – сигналом – в нашем случае является именно глубина провала).

Выражение (2) связывает экспериментально определяемое значение среднеквадратического отклонения шумов провала σ_n (через отношение сигнал/шум ψ) и заданную условиями задачи вероятность разрешения P . Оно представляет собой модифицированную функцию ошибок, которая хорошо протабулирована и может быть использована для численных расчетов. Определив из него значение ΔI_{av} , соответствующее заданной вероятности разрешения мы можем с помощью функции провала рассчитать соответствующее разрешение для данного числа градаций и определенного нами ранее уровня шумов.

Таким образом, для АОУ, передающих и преобразующих сигналы, разрешающая способность определяется в соответствии с необходимым числом градаций, которые нужно различить с заранее заданной вероятностью. Подобный информационный критерий разрешения может

быть сформулирован и для АОУ, предназначенного для адресации пространственной матрицы. В АО дефлекторе обеспечивается необходимая разрешающая способность, если интенсивность отклоненного пучка света, попадающего на определенный пиксель I' , превышает I_{th} на определенную величину (адресация), и если пучок, адресующий соседний пиксель, освещает рассматриваемый пиксель с интенсивностью, меньшей I_{th} на определенную величину (неадресация). Эти величины могут быть определены исходя из требуемой вероятности ложной адресации.

Расчет этой величины был проведен ранее для случая АОУ, реализующего обработку спектра сигнала. Если задана величина вероятности отказа (ложной адресации) $P_{failure}$, то величина превышения сигналом порогового значения Q может быть рассчитана исходя из графика нормального закона по измеренной дисперсии шума σ_n^2 . Для нее должно выполняться следующее соотношение:

$$P_{failure} = (1 - \Phi(Q / \sigma_n)) / 2 \quad (3)$$

то есть, чем больше превышение порога срабатывания или меньше шумы, тем меньше вероятность ложного срабатывания. При нулевом превышении ($I' = I_{th}$) вероятность ошибки равна 50%, что хорошо известно из литературы по теории случайных процессов. Следует также помнить, что реально возможные значения Q ограничены областью от 0 до I_{th} .

Иногда процесс адресации должен быть настолько быстрым, что следующий пиксель начинает адресоваться до окончания адресации предыдущего пикселя. Следовательно, сигналы, относящиеся к нескольким адресам, могут одновременно оказаться в апертуре АОУ, причем каждый из них движется к концу апертуры. Однако, амплитуда сигнала в начале апертуры больше, чем в конце, поскольку, при распространении акустической волны в звукопроводе АО ячейки происходит ее затухание и ослабление вследствие расходимости. Последний эффект особенно ярко

проявляется в материалах с сильной зависимостью скорости распространения ультразвука от направления, например, в парателлурите. В то же время, с ростом пройденного сигналом в апертуре расстояния за счет случайного рассеяния на неоднородностях активной среды (например, дефектах кристалла) и тепловых колебаний молекул среды, все компоненты шума нарастают от начала апертуры к ее концу. Таким образом, отношение сигнал/шум при распространении ультразвуковой волны в активной среде падает по мере удаления от пьезопреобразователя. В результате этого величина Q может оказаться различной для различных участков апертуры. В итоге это приводит к тому, что информационная емкость распределяется по апертуре неравномерно.

Строгое аналитическое описание возрастания уровня шума вдоль апертуры не представляется возможным в силу многообразия причин шума и слабой исследованности их зависимости от конкретных физических условий. Поэтому, чтобы оценить распределение информационной емкости по апертуре, требуется провести ряд экспериментов и обработать их результаты.

Третья глава

Для иллюстрации предложенной концепции расчетов было реализовано экспериментальное исследование процесса передачи градаций сигнала с помощью акустооптической ячейки Брэгга. Для этого мы воспользовались следующей разработанной нами методикой.

1) При максимальной входной мощности (для данного устройства) подать на его вход двухчастотный сигнал, содержащий необходимое число градаций и снять зависимость интенсивности в выходной плоскости АОСА от пространственной координаты (речь идет об одномерном устройстве). При этом следует добиться максимального сближения пиков, при котором провал между ними еще будет четко наблюдаться. Последнее делается для минимизации влияния дробовых шумов.

2) По снятой зависимости рассчитать положение минимума и второго максимума кривой посредством аппроксимации ее гауссовой (или **sinc**) зависимостью.

3) Провести многократные (для достижения достоверного приближения к нормальному закону распределения) измерения фактической интенсивности в рассчитанных точках; при этом шум считается стационарным эргодическим процессом.

4) На основе измерений пп.2,3. рассчитать среднее значение и дисперсию глубины провала.

5) По заданной вероятности разрешения определить требуемое отношение «сигнал/шум» и на его основе с помощью функции провала найти требуемое разрешение для данного числа градаций.

6) Повторить п.п. 1-5 для другого числа градаций (при необходимости).

Измерения производились для случая передачи 2, 4, 6 и 8 градаций акустооптическим спектроанализатором. Результаты измерений показывают, что информационный критерий разрешения позволяет более гибко подходить к вопросу о том, разрешены точки или нет, – разрешение становится не жестко детерминированной, а статистической величиной. Так критерий Рэлея требует, чтобы провал между разрешенными точками составлял не менее 20%. Соответственно, для нашего случая это будет означать разрешение, равное 204кГц. В то же время, согласно информационному критерию данное разрешение при имеющихся шумах достаточно для разрешения двух точек, содержащих две градации яркости, с вероятностью 98,5%. Таким образом, если требуемая вероятность разрешения не превосходит данного значения, то устройство будет работать как следует. Если же заданная вероятность будет, скажем, 99% или 99,9%, то критерий Рэлея даст нам разрешение меньшее, чем необходимо, и устройство станет функционировать с ошибками. С другой стороны, если заданная вероятность разрешения меньше 98,5%, то для данного уровня шумов мы можем уменьшить расстояние между разрешаемыми элементами; при этом по информационному критерию точки

останутся разрешенными, а по Рэлею – нет. Последний случай представляет собой так называемое сверхразрешение. Следует отметить, что согласно информационному критерию разрешение с вероятностью 50% возможно даже когда математическое ожидание глубины провала равно 0, то есть когда провала в среднем по реализациям нет: поскольку средняя глубина провала равна 0, то при единичном измерении мы можем с равной вероятностью получить либо $\Delta I > 0$ – разрешение, либо $\Delta I < 0$ – неразрешение.

Кроме того, подавляющее большинство АО систем работает с градационными сигналами, для разрешения которых критерий Рэля вообще неприменим. Действительно, расстояние между разрешенными элементами с ростом числа градаций увеличивается, так что две точки, разрешенные по Рэлею для двух градаций, уже не будут различимы, скажем, при 8 градациях яркости. В то же время информационный критерий определяет разрешающую способность устройства как минимальный интервал между двумя сигналами, при котором можно различить заданное число градаций с заданной вероятностью. Таким образом, информационный критерий разрешения является более общим по сравнению с критерием Рэля.

Что касается измерения распределения информационной емкости вдоль апертуры АО ячейки, следует отметить, что как следует из экспериментальных измерений, информационная емкость зависит нелинейно от длины апертуры. Снижение прироста информационной емкости с ростом длины апертуры связано с влиянием описанных ранее факторов. Для любой ячейки Брэгга существует критическое значение L , превышение которого не приводит к заметному увеличению информационной емкости. Поэтому дальнейшее увеличение апертуры лишено смысла.

Четвертая глава

Четвертая глава посвящена расширению информационного критерия разрешения на двухкоординатные устройства. В ней показано, что введение второй координаты принципиально не отразится на формулировке критерия,

добавятся лишь новые источники шумов для канала второй координаты. В этой же главе представлены результаты измерений разрешения двухкоординатного проекционного АО дефлектора в соответствии с предложенным критерием. Цель и методика проведения эксперимента в основном совпадали с изложенными ранее для однокоординатного АОСА. Однако в методике имелись некоторые отличия, связанные с особенностями практического воплощения измерительного стенда; в частности, измерения интенсивности проводились не в фиксированных точках, а во всей выходной плоскости. Кроме того, поскольку измерение разрешения проводилось для каждой из осей АОДД отдельно, то в качестве тестового использовался трехчастотный сигнал, две частоты которого соответствовали координатам разрешимых элементов по одной координате, а третья – сдвигу обоих элементов по другой. Как и ранее первая частота являлась фиксированной, равной центральной частоте полосы согласования, а вторая могла изменяться (то же относится и к их амплитудам), что же касается третьей частоте, то она обычно была равна первой частоте. Таким образом, в ходе эксперимента мы имели возможность управлять расстоянием между разрешимыми пиками по одной из координат. Тестовый сигнал генерировался специально сконструированным для данного устройства генератором с программным управлением.

Из значений среднеквадратического отклонения шума, полученных при обработке полученных распределений интенсивности света в выходной плоскости, видно, что с уменьшением глубины провала наблюдается рост σ_n . Это связано с тем, что, как уже говорилось ранее, кроме чисто тепловых шумов в системе имеются и дробовые шумы, пропорциональные величине сигнала. Однако, вызываемое ими изменение σ_n невелико, хотя, как и следовало ожидать, оно превышает изменение среднеквадратического отклонения шумов для одной ПЗС-матрицы. Кроме того, разрешение по координате x отличается от разрешения по y -координате, что связано с

неидентичностью каналов по передаточным функциям и шумовым характеристикам.

Таким образом, в результате данной экспериментальной работы было определено разрешение двухкоординатного АОД, точнее – зависимость вероятности разрешения от расстояния между пиками для каждой из координат. Следует отметить, что данные измерения характеризуют уже не отдельные звенья акустооптической СИС, как это было в случае однокоординатного АОСА, но все устройство в целом – от генератора частот до выходной плоскости. При этом, правда, как и ранее разрешение системы соответствовало всему измерительному стенду, а не чисто дефлектору, но в данном случае это может быть оправдано тем, что электронный способ измерения разрешения является наиболее удобным и оперативным, позволяя проводить измерения в реальном масштабе времени. Для устранения возможного произвола при определении разрешения для дефлекторов необходимо лишь стандартизировать последнее, фотоэлектрическое звено цепи преобразования информации.

Основные результаты и выводы

1. Проанализирована задача об определении важнейшей информационной характеристики АО устройства – разрешения – и его связи с шумовыми параметрами устройства. Показано, что используемый критерий разрешения Рэлея во многих случаях не обеспечивает достоверного определения разрешения.
2. Сформулирован информационный критерий разрешения акустооптического спектроанализатора, связывающий разрешение, вероятность разрешения, среднеквадратичное отклонение шумов, число передаваемых градаций яркости и размеры светового пучка.
3. Проанализирован способ определения разрешения акустооптических систем, предназначенных для оптической адресации. Сформулирован информационный пороговый критерий разрешения, связывающий

вероятность адресации, уровень шумов, геометрические параметры адресующего пучка и адресуемой матрицы.

4. Проведен теоретический расчет разрешения и информационной емкости широкополосного акустооптического спектроанализатора для различного числа разрешаемых градаций.
5. Созданы несколько вариантов стенда для измерения разрешения различных типов АО устройств согласно предложенному критерию.
6. Проведены работы по экспериментальному определению разрешения двух АО устройств – АО спектроанализатора и двухкоординатного дефлектора. Полученные результаты показывают большую гибкость и универсальность информационного критерия разрешения по сравнению с традиционным критерием Рэлея.
7. Проанализирована зависимость информационной емкости апертуры акустооптической ячейки Брэгга от длины звукопровода. Эмпирически установлено, что данная зависимость является нелинейной, и для любой ячейки Брэгга существует критическое значение длины звукопровода, превышение которого не приводит к заметному увеличению информационной емкости.

Список опубликованных работ.

1. A transmission function of a generalized acousto-optical device / B.S.Gurevich, S.B.Gurevich, V.I.Popkov, A.A.Rodiontsev, and V.N.Sokolov // Proc. SPIE. 1997. Vol.3238. P. 38-45.
2. A new way of holographic recording and reconstruction of the wideband signals / P.A.Burov, B.S.Gurevich, A.V.Robertov, A.A.Rodiontsev, and V.N.Sokolov // Proc. SPIE. 1997. Vol. 3238. P. 106-113.
3. On a possibility to create a superwideband acousto-optical spectrum analyser / S.V.Andreyev, P.A.Burov, B.S.Gurevich, V.A.Markov, A.A.Rodiontsev, and V.N.Sokolov // European Optical Society Topical Meetings Digest Series.

1997. Vol. 15. P. 124-127.
4. Acousto-optical information processing with the bandwidth bigger than octave / S.V.Andreyev, A.V.Belyaev, P.A.Burov, B.S.Gurevich, A.A.Rodiontsev, and V.N.Sokolov // Proc. SPIE. 1997. Vol.3160.
 5. Bragg diffraction of light on a sound beam modulated by an analog signal / S.V.Andreyev, P.A.Burov, B.S.Gurevich, A.A.Rodiontsev, V.N.Sokolov, and V.V.Vorobiev // European Optical Society Topical Meetings Digest Series. 1997. Vol. 12. P. 144-145.
 6. Information transmission capability of a process of light diffraction on a thick running phase diffraction grating / S.V.Andreyev, P.A.Burov, B.S.Gurevich, V.A.Markov, A.A.Rodiontsev, and V.N.Sokolov // European Optical Society Topical Meetings Digest Series. 1997. Vol. 12. P. 204-205.
 7. Сверхширокополосный акустооптический спектроанализатор / Андреев С.В., Гуревич Б.С., Родионцев А.А., Соколов В.Н. // 3-я Межведомственная научно-техническая конференция «Проблемные вопросы сбора, обработки и передачи информации в сложных радиотехнических системах»: Тезисы докладов / г.Пушкин, 1997. С. 217.
 8. Применение импульсов гауссовой формы для компенсации частотного сдвига в голографических системах записи радиосигналов / Буров П.А., Гуревич Б.С., Робертов А.В., Родионцев А.А., Соколов В.Н. // Там же. С. 222-223.
 9. Устройство акустооптической адресации в системе голографической памяти / Андреев С.В., Беляев А.В., Гуревич Б.С., Марков В.А., Родионцев А.А., Соколов В.Н. // Там же. С. 232-233.
 10. Investigation of information capacity distribution along the active aperture of acousto-optical devices intended for optical memory recording and addressing / S.V.Andreyev, A.V.Belyaev, B.S.Gurevich, A.A.Rodiontsev, and

- V.N.Sokolov // Proceedings of the SPIE. 1997. Vol. 3402. P. 178-183.
11. Acousto-optical tunable filters resolution measurements / S.V.Andreyev, A.V.Belyaev, B.S.Gurevich, A.A.Rodiontsev, V.N.Sokolov, and V.V.Vorobiev // European Optical Society Topical Meetings Digest Series. 1998. Vol.21. P.67-68.
 12. Information losses in acousto-optics, their reasons, and ways to minimize them / S.V.Andreyev, B.S.Gurevich, A.A.Rodiontsev, V.N.Sokolov, and V.V.Vorobiev // Proceedings of the SPIE. 1998. Vol. 3464. P.55-63.
 13. New ways to expand operation bandwidth of acousto-optic spectrum analyzers / S.V.Andreyev, A.V.Belyaev, P.A.Burov, B.S.Gurevich, A.A.Rodiontsev, and V.N.Sokolov // Proceedings of the SPIE. 1998. Vol.3464. P.112-120.
 14. Investigation of information characteristics of acousto-optic deflection unit of a laser large screen projection system / S.Alymkulov, S.V.Andreyev, A.V.Belyaev, B.S.Gurevich, A.I.Kantserov, and A.A.Rodiontsev // Proceedings of the SPIE. 1999. Vol. 3787. P. 210-218.