

6  
А 3

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. К. Кустарёв

На правах рукописи

ЦВЕТОВОЙ РАСЧЕТ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

## ВВЕДЕНИЕ

Современное цветное телевидение, как система воспроизведения цветных изображений, основывается на трехцветной колориметрии. Необходимость использования колориметрии ощущалась уже с первых попыток осуществления цветного телевидения, относящихся к концу двадцатых годов. Сначала это использование было довольно примитивным, но по мере развития цветного телевидения все лучше уяснялись требования, которым должна удовлетворять вся система для получения наиболее правильного цветовоспроизведения при условии наилучшего использования канала связи.

Развитие одновременных систем цветного телевидения потребовало гораздо более широкого применения колориметрии, чем это имело место при поочередных системах, так как одновременные способы передачи позволили прибегать к преобразованию цветовых координат в процессе передачи сигналов по телевизионному тракту. В результате осуществления таких преобразований стало возможным получение целого ряда преимуществ как в отношении использования канала передачи, так и в отношении устройства оконечной аппаратуры.

В послевоенные годы в США была проделана большая работа по созданию одновременной совместимой системы цветного телевидения, которая завершилась принятием стандарта на так называемую систему НКТС в декабре 1953 г. Большие работы в этом направлении ведутся и в СССР.

Тем не менее до сих пор еще ощущается неполнота колориметрического обоснования систем цветного телевидения. Многие наиболее фундаментальные работы в этой области относятся лишь к отдельным узким вопросам и не охватывают всей системы в целом. Очень слабо в частности развит вопрос о выборе цветовой координатной системы для передающего конца телевизионного тракта.

Таким образом настоятельно чувствуется необходимость более полного и общего рассмотрения всех возможностей, ко-

торые дает колориметрия при построении систем цветного телевидения.

Широкий выбор цветовых координатных систем, ставший возможным в цветном телевидении благодаря возможности выполнения преобразования цветовых координат электрическим путем, требует также более детальной разработки чисто математических вопросов колориметрии, связанных с этими преобразованиями. Так, например, при выборе цветовой координатной системы для одного из звеньев телевизионного тракта приходится одновременно оперировать с несколькими возможными цветовыми системами, причем последние могут сравниваться друг с другом при помощи системы МКО или системы с равноконтрастной диаграммой цветности и т. д. При этом очень важно иметь возможность быстро и легко пересчитывать цветовые координаты и координаты цветности, находить формулы преобразования и производить другие расчетные операции.

Однако, вопрос преобразования цветовых координатных систем по существу остался в том виде, в каком он был развит в классических работах Айвса и Гилда, относящихся к двадцатым годам. Это объясняется тем, что до появления цветного телевидения средства цветовоспроизведения не позволяли, а практика колориметрии не требовала широкого выбора цветовых координатных систем. После упомянутых работ в этом направлении было сделано очень мало, и лишь некоторое развитие имело место уже применительно к цветному телевидению (например, в работах Уинtringема, Бингли и Ливингстона).

В диссертационной работе ставилась цель в какой-то мере восполнить указанные проблемы и дать по возможности общее рассмотрение вопросов применения колориметрии в цветном телевидении.

Колориметрический расчет системы цветного телевидения состоит в выборе цветовых координатных систем для всех звеньев телевизионного тракта и нахождении преобразований между ними. В соответствии с этим была произведена разработка вопросов преобразования цветовых координатных систем, чему посвящена первая глава, и были рассмотрены вопросы, связанные с выбором цветовых координатных систем для передающего звена и канала передачи телевизионного тракта (вторая и третья главы соответственно). При этом цветовая координатная система приемного устройства затрагивается лишь частично, так как в имеющейся литературе она освеще-

на наиболее полно. Третья глава содержит также описание выполненной автором экспериментальной работы.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИСТЕМ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ

Преобразование цветных координат имеет место при переходе от выражения цвета в одной координатной системе к выражению этого же цвета в другой координатной системе и описывается системой из трех линейных уравнений. Девять коэффициентов, входящих в эти уравнения, образуют матрицу преобразования.

Для нахождения матрицы преобразования, или перехода от одной цветной системы к другой, необходимо знать взаимную связь между этими двумя цветными системами, заданную любым из возможных способов. Так, например, новая система может быть задана в старой, старая система может быть задана в новой или обе эти системы могут быть заданы в какой-либо третьей системе. Преобразования, соответствующие этим трем видам выражения взаимосвязи между системами, названы соответственно прямым, обратным и косвенным переходами.

Поскольку матрица перехода содержит 9 элементов, то для того, чтобы задать цветную систему, надо знать 9 параметров. Этими параметрами могут быть цветные координаты трех основных цветов (положение трех точек в пространстве). При этом преобразование цветных координат осуществляется по известным формулам аналитической геометрии.

Специфика преобразования цветных координатных систем заключается, однако, в том, что почти всегда имеют дело не с пространственными, а с плоскостными координатами. В качестве плоскости, служащей для двумерного представления цветного качества, используется диаграмма цветности, представляющая собой плоскость цветного пространства с единичной суммой цветных координат (единичную плоскость) или проекцию ее на одну из координатных плоскостей. При этом для того, чтобы задать цветную систему, надо знать 4 плоскостных элемента, что дает 8 параметров и определяет проективное преобразование (коллинеацию) плоскости диаграммы цветности, и девятый параметр, тем или иным способом устанавливающий количественное соотношение при переходе.

Коллинеация может быть задана четырьмя точками, четырьмя прямыми, тремя прямыми и одной точкой либо, наконец,

тремя точками и одной прямой. Тремя плоскостными элементами являются вершины или стороны цветного треугольника. Четвертым элементом служит точка, которой соответствует исходная цветность (получаемая при сложении равных количеств основных цветов) или бесконечно удаленная прямая диаграммы цветности.

В работе приведен вывод выражений матрицы преобразования для прямого, обратного и косвенного переходов при указанных четырех способах, посредством которых могут быть заданы цветные системы. Количественный множитель в большинстве случаев задается в виде соотношения сумм цветных координат для единичного исходного цвета.

Рассмотрены некоторые частные случаи преобразований цветных координат. Показано, что в первом частном случае, когда при переходе сохраняется сумма цветных координат, сохраняется единичная плоскость цветного пространства, т. е. сохраняется бесконечно удаленная прямая диаграммы цветности, и имеет место аффинное преобразование координат цветности. Матрица такого перехода, названного простым, является приведенной по столбцам (сумма элементов каждого ее столбца равна единице). Вторым частным случаем перехода является случай сохранения исходного цвета. При этом сохраняется единичная точка пространства, а матрица перехода является приведенной по строкам.

Разработаны и изложены графические способы пересчета координат цветности, а также сумм цветных координат, которые совместно позволяют пересчитывать цветные координаты. Сетки координат цветности представляют собой пучки прямых с центрами, лежащими на бесконечно удаленной прямой данной диаграммы цветности. Поэтому, когда положение бесконечно удаленной прямой известно, построение сеток новых координат цветности не представляет труда, а когда оно неизвестно, то построение координатных пучков как раз и сводится к построению этой прямой.

Показано, что когда известна исходная цветность, бесконечно удаленная прямая диаграммы цветности может быть построена с помощью одной линейки при использовании гармонических соотношений в цветном треугольнике. Цветовой треугольник и вписанный в него треугольник, вершинами которого являются точки пересечения со сторонами цветного треугольника прямых, проведенных из противоположных вершин через точку исходной цветности, вместе с исходной цвет-

ностью и бесконечно удаленной прямой образуют конфигурацию Дезарга, в которой исходная цветность и бесконечно удаленная прямая являются дезарговыми точкой и прямой соответственно. Найденное соотношение позволяет построить бесконечно удаленную прямую по данной исходной цветности, а также выполнить обратное построение.

Показано также, что линии с постоянными значениями отношения сумм цветовых координат в двух цветовых системах образуют на диаграмме цветности пучок прямых с центром в пересечении бесконечно удаленных прямых обеих систем. Шкала прямых пучка определяется какой-либо одной точкой, для которой искомое соотношение известно.

В некоторых случаях удобнее пользоваться не координатными сетками, а номограммами другого вида, где координаты цветности откладываются по двум прямым, а пересечение прямой линии, проведенной через две точки с данными значениями координат цветности, с двумя другими прямыми дает сразу значения новых координат цветности, шкалы которых нанесены на двух последних прямых. В связи с этим описан простой графический способ построения таких номограмм, являющегося построением, двойственным на плоскости построению новых координатных пучков. Построение номограммы также сводится к частному случаю конфигурации Дезарга (когда один из дезарговых треугольников вписан в другой), поскольку последняя двойственна сама себе. На номограмму можно нанести также шкалу отношений сумм цветовых координат.

Описан простой графический способ построения сетки новых координат цветности для случая, когда новая цветовая система задана в старой системе своими основными цветами (пространственными координатами), являющийся развитием способа, предложенного Айвсом.

В заключение данной главы дан графический способ нахождения элементов матрицы преобразования. Этот способ сводится к проведению на диаграмме цветности шести прямых из вершин цветового треугольника старой системы через точки исходных цветностей обеих систем до пересечения с соответствующими сторонами цветовых треугольников обеих систем. Для определения одного элемента матрицы перехода необходимо найти отношение двух простых отношений трех точек на двух прямых. Определение общего количественного множителя сводится к нахождению отношения двух отрезков на диаграмме цветности.

## ЦВЕТОВАЯ КООРДИНАТНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Оконечное передающее устройство (камера) преобразует данные о цвете, поступающие от передаваемой сцены в виде излучения, в цветовые координаты, определяемые выходными сигналами камеры. Характеристики спектральной чувствительности камеры должны поэтому совпадать с кривыми смещения выбранной цветовой системы, поскольку последние как раз и дают требуемую связь излучения с цветовыми координатами.

На примере камеры легче всего убедиться в необходимости преобразования цветовых координат в телевизионном тракте. Поскольку основные цвета системы приемника являются реальными цветами, то стороны цветового треугольника системы приемника пересекают линию спектральных цветов, а следовательно, кривые смещения системы приемника обязательно будут обладать отрицательными ветвями. Пути осуществления отрицательных ветвей кривых чувствительности неизвестны, а пренебрежение ими, как часто делается практически, приводит к невозможности колориметрически верной цветопередачи.

Колориметрически верное воспроизведение цветов может быть обеспечено только при выборе в камере такой цветовой системы, каждая кривая смещения которой содержит только положительные ветви. Наряду с отрицательными ветвями также нежелательно наличие у кривых смещения побочных положительных ветвей, так как двугорбые кривые трудно реализовать практически.

Поскольку это является обязательным условием для обеспечения колориметрически верной цветопередачи, то прежде всего исследуется, какие цветовые системы удовлетворяют требованию наличия одnogорбых кривых смещения.

Из формул, выведенных в первой главе, следует, что существует взаимно однозначное соответствие между видом кривой смещения (без учета масштаба по оси ординат) и прямой линией на диаграмме цветности. Это соответствие позволяет анализировать непосредственно прямые на диаграмме цветности, как возможные стороны цветового треугольника системы камеры.

В результате проведенного анализа на диаграмме цветности МКО выделено множество прямых, которым соответствуют все возможные комбинации кривых смещения МКО, дающие одnogорбые кривые. Это множество содержит прямые пучка с центром вблизи фиолетового конца линии спектральных цве-

тов и прямую  $z$ , противоположащую вершине цветового треугольника МКО, в которой расположен основной цвет ( $Z$ ).

Поскольку через одну точку могут проходить только две стороны треугольника, то из сторон цветового треугольника системы камеры одна обязательно должна быть прямой  $z$ , а две другие должны входить в пучок «одногогорбых кривых».

Рассматривается вопрос о том, какие стороны следует предпочесть с точки зрения обеспечения верности цветопередачи. При точном осуществлении кривых смещения в качестве спектральных характеристик чувствительности трех каналов камеры в любом случае была бы обеспечена колориметрическая верность цветопередачи. Но это идеализированный случай. Практически характеристики спектральной чувствительности соответствуют кривым смещения лишь приближенно. Кроме того при матрицировании сигналов, соответствующих цветовой системе приемника, для осуществления гамма-коррекции возможны также ошибки из-за отклонения коэффициентов матрицирования от нужных значений.

Показывается, что для уменьшения возможных ошибок цветопередачи надо стремиться по возможности сближать стороны цветовых треугольников камеры и приемника. Следовательно, наилучшим с этой точки зрения будет цветовой треугольник системы камеры, двумя сторонами которого, которые можно менять при выборе, являются крайние прямые пучка «одногогорбых кривых».

Далее рассматривается вопрос о чувствительности камеры. Поскольку чувствительность камеры характеризуется величиной выходного сигнала при определенном уровне света на входе, то очевидно, что чувствительность отдельного канала камеры определяется площадью под приведенной (к единице на максимуме) кривой смещения, т. е. спектральной характеристикой чувствительности данного канала.

Практически, однако, сравнение различных цветовых систем камеры между собой по площадям под кривыми смещения не имеет смысла, так как при отличии системы камеры от системы приемника сигналы камеры не используются непосредственно для создания изображения, а комбинируются для образования сигналов системы приемника. Поэтому чувствительность камер с различными цветовыми системами нужно оценивать по отношению сигнала к шуму.

Три передающие трубки камеры являются независимыми источниками шумов, поэтому при переходе от системы камеры к системе приемника шумы будут всегда складываться квадра-

тично независимо от того, складываются или вычитаются сигналы. Поэтому сигналы, соответствующие цветовым координатам системы приемника, будут содержать больше шумов, т. е. обладать худшим отношением сигнала к шуму, так как матрица перехода от цветовой системы камеры к системе приемника всегда имеет отрицательные элементы.

При следующем же преобразовании, если оно имеет место, нельзя уже считать шумы в трех комбинируемых сигналах независимыми, так как шумовые составляющие в этих сигналах, вошедшие от одной и той же передающей трубки, будут иметь один характер и будут линейно складываться и вычитаться подобно сигналам.

Матрица произведения всех переходов между системой приемника (при осуществлении гамма-коррекции) и системой приемника непосредственно в приемнике равна единице, а так как она относится к сигналам и к шумам в них, то эти преобразования не изменят шумового содержания сигналов (рассматриваются только шумы камеры). Гамма-коррекция также не изменит влияния шумов камеры, поскольку она выполняется после перехода от системы камеры к системе приемника, а приемная трубка воздействует на шумовые напряжения по обратному закону. Поэтому изменение отношения сигнала к шуму в изображении происходит лишь при переходе от цветовой системы камеры к системе приемника.

Проведен анализ изменения отношения сигнала к шуму в изображении для двух законов зависимости шума от сигнала в камере: когда шум постоянен и когда он пропорционален корню квадратному из сигнала. Полученные формулы показывают, что при постоянном шуме изменение отношения сигнала к шуму постоянно и не зависит от цветности, а при законе степени  $1/2$  зависит от цветности передаваемого цвета.

С помощью методов, разработанных в первой главе, показано, что в случае изменения шума по закону степени  $1/2$  линии с постоянными значениями изменения отношения сигнала к шуму для камер с различными цветовыми системами образуют на диаграмме цветности пучок прямых, который может быть легко построен графически. Прделано несколько примеров расчета и построения пучков для случаев использования цветовой системы приемника и нескольких цветовых систем камеры, стороны цветовых треугольников которых удовлетворяют условию одногорбости кривых смещения.

Полученные графики показывают, что переход к системе камеры, отличной от системы приемника, в соответствии с тре-

бованием одногорбости кривых смещения позволяет сохранить или даже улучшить отношение сигнала к шуму в изображении.

В заключение второй главы рассматривается вопрос об установлении цветового баланса в камере, т. е. относительно соотношения выходных сигналов между собой, с учетом цветовой адаптации. В этом случае может быть достигнуто более физиологически верное воспроизведение цветов. Для обеспечения этого в качестве кривых спектральной чувствительности камеры должны применяться кривые смещения зрительной цветовой системы, в противном же случае для изменения баланса в соответствии с учетом цветовой адаптации в тракте до гамма-коррекции должен быть выполнен переход к зрительной цветовой системе. Все предполагавшиеся до сих пор кривые смещения зрительной цветовой системы, т. е. кривые чувствительности трех приемников глаза, являются одногорбыми, и поэтому они могут быть использованы в качестве кривых спектральной чувствительности камеры.

## ЦВЕТОВАЯ КООРДИНАТНАЯ СИСТЕМА КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ

Цветовые координаты системы передачи равноценны величинам трех электрических сигналов, используемых для передачи цветовой информации. Вследствие этого выбор цветовой системы передачи определяет состав полного сигнала цветного изображения и должен производиться с точки зрения удовлетворения требований, предъявляемых к передаче цветных сигналов. Эти требования различны в разных типах систем цветного телевидения и обуславливаются способом передачи информации о цвете по каналу связи, т. е. способом «упаковки» цветовой информации для передачи.

В данной работе рассмотрение ограничено случаем совместимой системы цветного телевидения с одной цветовой поднесущей и уплотнением спектра. Примером системы этого типа является стандартная американская система цветного телевидения НКТС.

В системе цветного телевидения рассматриваемого типа передается широкополосный монохромный сигнал и два узкополосных сигнала, модулирующие по амплитуде квадратурные составляющие цветовой поднесущей. Полный сигнал цветного изображения представляет собой сумму монохромного сигнала и сигнала цветовой поднесущей.

Прежде всего, помимо цветовой системы передачи, дано другое математическое описание передаваемого сигнала, которое ближе соответствует его природе в рассматриваемом способе цветовой телевизионной передачи. Это описание использует цилиндрические координаты в пространстве или полярные координаты приведенной поднесущей на плоскости единичной яркости (график приведенной поднесущей). Показано, что график приведенной поднесущей может рассматриваться как диаграмма цветности некоторой цветовой системы, названной системой поднесущей. Такое представление очень удобно, так как позволяет использовать графические способы анализа и преобразования цветных систем, развитые в первой главе. Показана взаимосвязь цветных систем передачи и поднесущей, а также различных систем поднесущей между собой.

Колориметрический выбор состава передаваемого сигнала сводится к установлению графика приведенной поднесущей (диаграммы цветности системы поднесущей), после чего остается ввести масштабный множитель для связи цветовой системы передачи (или поднесущей) с другими цветовыми системами. Выбор вида плоскости приведенной поднесущей (без масштаба) дает относительный состав сигнала цветовой поднесущей, на что расходуется семь параметров, а выбор восьмого параметра устанавливает соотношение сигнала цветовой поднесущей с яркостным сигналом.

Рассматривается условие совместимости цветного телевидения с черно-белым. Показывается, что выполнение условия совместимости приводит к определению пяти параметров системы передачи в виде двух элементов плоскости — одной стороны и противоположной ей вершины цветного треугольника системы передачи — и количественного соотношения, которое задается тем, что величина монохромного сигнала должна соответствовать яркости.

Затем рассматриваются три различных подхода к установлению графика приведенной поднесущей, при которых к сигналу цветовой поднесущей предъявляются требования равнозаметного влияния шумов канала передачи на цветность воспроизводимого изображения, условие ортогональности осей двух цветоразностных сигналов и условие симметричного расположения трех осей цветоразностных сигналов (сдвиг осей друг относительно друга на  $120^\circ$ ).

Показано, что для достижения равнозаметного влияния шума в линейном тракте проективное преобразование (коллинеация) плоскости диаграммы цветности системы поднесу-

щей на диаграмму с равномерной шкалой цветности (РШЦ) должно быть метрическим. При этом сетка полярных координат приведенной поднесущей сохранит свой правильный вид. Это требование противоречит требованию совместимости, и поэтому полная равнозаметность шума достижима лишь за счет отказа от совместимости. Показано, что при удовлетворении требования совместимости, однако, может быть сохранена равномерность пучка прямых постоянной фазы приведенной поднесущей (при искажении окружностей постоянной приведенной амплитуды поднесущей).

Описана цветовая система передачи, в которой обеспечивается сохранение пучка прямых постоянной фазы, названная системой «конгруэнтных пучков». Приведен график полярных координат приведенной поднесущей на диаграмме РШЦ и описан графический способ осуществления этого и аналогичного построений.

Второй подход к установлению графика приведенной поднесущей был использован в системе передачи НКТС, которая была выбрана из условия ортогональности прямых  $r-u$  и  $b-u$ . Ортогональность осей двух цветоразностных сигналов не дает особых преимуществ кроме того обстоятельства, что при детектировании в приемнике по этим осям проще устанавливать фазовый сдвиг  $90^\circ$ , чем какой-либо другой.

Описана цветовая система передачи, названная «равноугольной», полученная в соответствии с третьим подходом к установлению графика приведенной поднесущей. Такой сигнал может быть выгодным при некоторых типах однопрожекторных приемных трубок. Показано, что при детектировании по трем симметрично расположенным осям выделяются не цветоразностные сигналы, а определенные их части. Поэтому использовать «равноугольный» сигнал непосредственно для подачи на однопрожекторную трубку можно лишь в том случае, если соответствующим образом подобраны эффективности люминофоров.

Сравнение трех описанных подходов к выбору плоскости приведенной поднесущей показывает, что в случае линейного тракта система «конгруэнтных пучков» имеет некоторое преимущество в отношении большей зрительной равномерности влияния шума на цветность перед системой НКТС и еще большее перед «равноугольной» системой. В случае нелинейного тракта система «конгруэнтных пучков» по-прежнему дает несколько большую равномерность сетки, а «равноугольная» — самую плохую, но влияние шума везде становится резко не-

равномерным зрительно, так что преимущество какой-либо из систем в этом отношении становится сомнительным.

Выбор конкретной пары осей модуляции, т. е. «закрепление» цветового треугольника системы передачи на плоскости приведенной поднесущей, рассматривается с учетом так называемой разнополосной передачи. Идея разнополосной передачи заключается в более полном использовании особенностей цветового зрения, а именно разной разрешающей способности глаза для различных цветностей, с целью сокращения общей полосы частот, требующейся для передачи цветовой информации.

Дан обзор различных работ, посвященных изучению изменения цветовосприятия при уменьшении угла зрения и приведено описание экспериментальной работы, выполненной автором с целью получения ясной картины явления.

Измерения цветностей, изменившихся по виду в результате уменьшения поля зрения, производились непосредственным измерением на колориметре Дональдсона при закрывании верхней половины поля колориметра заслонкой с круглым отверстием, определявшим размер малого поля. Измерения производились тремя наблюдателями при размере малого поля  $5'$  (иногда  $3'$  и  $10'$ ). Исследовалось около 30 образцов, цветности которых примерно равномерно располагались на той части диаграммы РШЦ, которая охватывалась треугольником основных цветов колориметра. Результаты измерений приведены в виде таблиц, а также стрелками на диаграммах цветности МКО, показывающими сдвиги цветностей, вызванные уменьшением угла зрения.

Опыты подтвердили наличие тританопного характера вырождения трехцветного зрения при малых углах и позволили установить, куда сдвигаются цветности при таком вырождении. Оказалось, что изменение цветовосприятия имеет место по всей площади сетчатки, но характер этого изменения различен в центре и на периферии сетчатки. Работа показала хорошее согласие в характере изменения цветовосприятия между отдельными наблюдателями для цветностей, точки которых расположены выше «неподвижной» прямой (расположенные на которой цветности не меняются) и различие между ними для цветностей ниже этой прямой в отношении как фовеального, так и периферического зрения. Малое число наблюдателей, участвовавших в опытах, не позволило к сожалению установить здесь какую-либо закономерность.

Для получения соответствия между цветовоспроизведением и характером изменения цветовосприятия необходимо расположить вершину цветового треугольника системы передачи, соответствующую узкополосному сигналу, в центре пучка прямых неразличения цветностей. Это обеспечит правильное направление изменения цветностей на малых деталях. Положение же стороны, противоположной этой вершине, при этом некритично, ибо она дает лишь цветности, какими будут воспроизведены при малых деталях все цветности, а восприняты они будут всегда как цветности на «неподвижной» прямой независимо от того, какими они будут воспроизведены.

При рассмотрении полученных экспериментальных результатов и разнополосной передачи в системе НКТС делается вывод, что выбор узкополосной и широкополосной осей НКТС не представляется оптимальным, и вряд ли здесь вообще имеется однозначный оптимальный выбор. Проблема переходных искажений ставит под сомнение целесообразность применения разнополосной передачи вообще, если в этом нет настоятельной нужды для сокращения полосы частот сигнала цветовой поднесущей.

В заключение третьей главы рассматривается использование полным сигналом цветного изображения амплитудной области сигнала изображения. Описан простой способ нахождения максимально возможных превышений полным сигналом имеющейся амплитудной области, причем за основу для определения максимально возможных значений отдельных сигналов взяты кривые максимальной зрительной эффективности Мак-Адама. Здесь рассмотрение ограничено случаем линейного тракта. Критерий использования амплитудной области служит для установления соотношения между сигналом цветовой поднесущей и яркостным сигналом, которое колориметрически определяется положением исходной цветности цветовой системы передачи на заданной прямой (в результате установления графика приведенной поднесущей).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ниже дается краткий перечень основных результатов, полученных в настоящей работе:

1. Дан вывод выражений матрицы преобразования цветных координат для прямого, обратного и косвенного переходов от одной цветовой системы к другой при четырех способах, посредством которых может быть установлена взаимосвязь между этими двумя цветовыми системами.

2. Даны графические способы пересчета координат цветности и сумм цветных координат, позволяющие пересчитывать графически и цветные координаты, и заключающиеся в построении координатных сеток или в построении номограмм.

3. Дан графический способ нахождения элементов матрицы преобразования цветных координат.

4. Выделена область прямых на диаграмме цветности, соответствующие которым кривые смещения исчерпывают все множество одногорбых кривых.

5. Разработан метод сравнения различных цветных систем передающего устройства по проявлению на изображении шумов, создаваемых в этом устройстве.

6. Предложена цветная система передачи, обеспечивающая наибольшую в отношении зрительного восприятия равномерность влияния шумов канала передачи на цветность воспроизводимого изображения.

7. Предложена цветная система передачи, обеспечивающая выделение цветоразностных сигналов при непосредственном детектировании по симметричным осям.

8. Проведено экспериментальное изучение изменения цветности восприятия при уменьшении угла зрения.

Многие из полученных результатов имеют общий характер и могут быть использованы также и в других областях цветопередачи, а не только в цветном телевидении.

Материалы настоящей работы опубликованы в следующих статьях, перечисленных в соответствии с расположением материала в диссертации.

## Первая глава

1. «Цветовые расчеты в цветном телевидении», Техника кино и телевидения, № 11, 1957, стр. 51—61.

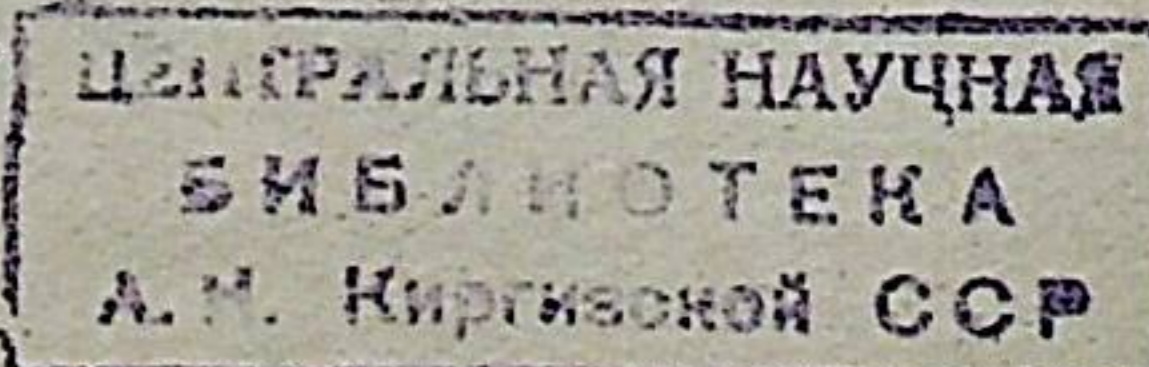
2. «Графический пересчет координат цветности», Светотехника, № 5, 1956, стр. 4—9.

3. «Графический пересчет координат цвета», Светотехника, № 4, 1957, стр. 15—16.

4. «Графический способ построения номограмм для пересчета координат цветности», Светотехника, № 8, 1957, стр. 20—23.

## Вторая глава

5. «Спектральные характеристики воспринимающих устройств в цветном телевидении», Техника кино и телевидения, № 6, 1957, стр. 31—42.





6. „Spectral response curves of the pick-up devices in colour television,“ Acta Electronica. Vol. 2, № 1—2, 1957—58; p. 13 (Abstract.)

7. «Цветовая адаптация», Светотехника, № 4, 1958, стр. 4—9.

### Третья глава

8. «О составе передаваемого сигнала в совместимой системе цветного телевидения с одной цветовой поднесущей», Техника кино и телевидения, № 7, 1958, стр. 42—54.

9. «Изменение цветовосприятия при уменьшении угла зрения», Светотехника, № 1, 1958, стр. 11—15.