

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ СРЕДСТВ СВЯЗИ СССР

---

---

# **ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
СБОРНИК

---

---

СЕРИЯ

**ТЕХНИКА ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

ВЫПУСК 5 (31)

МОСКВА 1981

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
И. А. Росселевич. Отечественному телевидению — 50 лет . . . . .	3
Г. И. Власов, В. Т. Есин, Б. М. Певзнер и С. А. Шерман. Четыре поколения телевизионной аппаратуры . . . . .	8
Б. М. Певзнер. Вещательное телевидение 2000-го года . . . . .	17
Г. И. Власов и М. Н. Товбин. Система высокой четкости — будущее телевидения	27
В. Б. Иванов. Проблемы магнитной видеозаписи в телевизионном вещании . . .	34
Р. Е. Быков. Проблемы разрешающей способности и качества изображения в телевидении . . . . .	43
И. К. Иванов, В. И. Мигачев и Л. П. Романков. Автоматизация выпуска телевизионных программ на телецентре . . . . .	52
Ю. П. Докучаев, В. П. Зайцев, Ю. А. Кузнецов, И. А. Росселевич, О. И. Фантиков и Л. И. Хромов. Состояние и перспективы развития твердотельного телевидения . . . . .	60
Г. П. Шеров-Игнатъев. Перспективы миниатюризации телевизионной аппаратуры	66
И. И. Цуккерман. Электроннооптические проблемы телевизионной техники . . .	75
И. И. Цуккерман. Телевизионные методы автоматизированного анализа изображений . . . . .	82
М. Н. Товбин. Первые отечественные приемники электронного телевидения . . .	88
Н. И. Валов, О. Н. Василевский, А. Н. Великожон, М. Г. Шпякин и Ш. А. Фурман. Современные оптико-механические комплексы для камер вещательного цветного телевидения . . . . .	94
П. В. Шмаков. Добро и зло от телевидения . . . . .	104

Научно-технический сборник  
ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

Серия

Техника телевидения

Выпуск 5 (31)

1981

УДК 621.391.837 : 621.397

*Доктор техн. наук Р. Е. Быков*

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТЕЛЕВИДЕНИИ**

Дан обзор развития телевизионной техники в первые годы ее становления. Освещены исследования, выполненные на кафедре телевидения Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина), по проблемам разрешающей способности телевизионных систем и качества изображения, начиная от постановки задачи о разрешающей способности телевизионных систем и кончая вопросами изучения качества изображения и разрешающей способности современных систем на матричных фотоэлектрических преобразователях.

### **Первые практические шаги телевизионной техники в Ленинграде**

Проблемы повышения разрешающей способности телевизионных систем и улучшения качества телевизионного изображения возникли с первых практических шагов развития телевизионной техники; они остро стоят и в наши дни.

Одной из первых телевизионных систем, созданных в Ленинграде в 1929 г., была оптико-механическая система с разложением изображения на 40 строк. Как сообщалось в журнале «Тридцать дней» № 12 за 1930 г., устройство обеспечивало разложение изображения на «4000 точек». Создателем системы был Я. А. Рыфтин. Работа выполнялась под руководством академика А. А. Чернышева в Государственном физико-техническом институте АН СССР.

В 1930—1931 гг. в Ленинградском электрофизическом институте были проведены работы по созданию оптико-механической системы на 60 строк разложения. Работы также проводились Я. А. Рыфтиным под руководством директора института академика А. А. Чернышева. В состав аппаратуры входили студийная камера, построенная по методу бегущего луча, камера, обеспечивающая передачу натуральных сцен в условиях естественного освещения (рис. 1) и приемное устройство, формирующее телевизионный растр с горизонтальными или вертикальными строками (рис. 2). В этих устройствах использовалась оптико-механическая развертка изображения на передающей и приемной сторонах (рис. 3) [1]. 19 октября 1931 г. с помощью созданной системы было

передано выступление академика А. А. Чернышева для представителей печати и организована публичная демонстрация разработанной аппаратуры [2].

Затем, в 1934 г. демонстрировалась система электронного телеви-

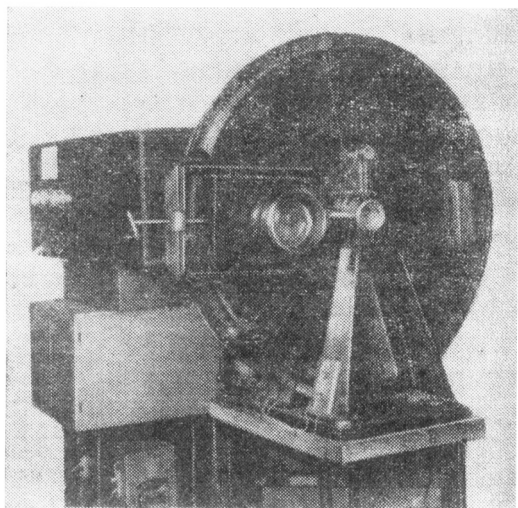


Рис. 1. Студийная камера с оптико-механической разверткой на 60 строк разложения

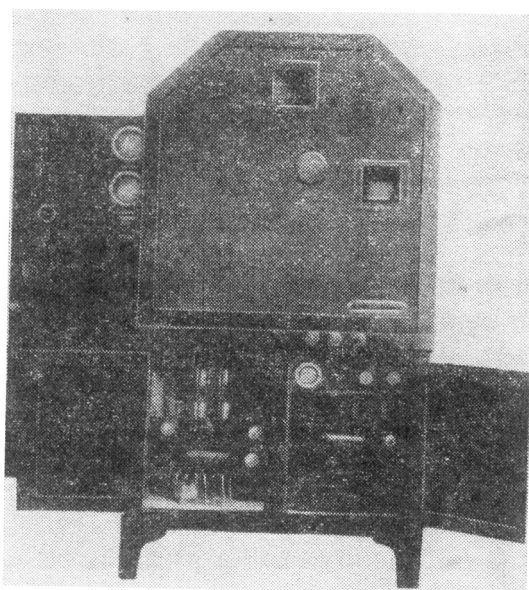


Рис. 2. Приемное устройство системы на 60 строк разложения



Рис. 3. Изображение, формируемое оптико-механической системой на 60 строк разложения

ных электронных систем вещательного телевидения.

В 30-е годы проводились экспериментальные исследования сенсор-

дения, созданная в Ленинграде коллективом сектора телевидения Всесоюзного научно-исследовательского института телемеханики под руководством начальника этого сектора Я. А. Рыфтина. Система имела 180 строк разложения; для преобразования оптического изображения в видеосигнал использовалась первая отечественная трубка иконоскоп с накоплением заряда (рис. 4), разработанная в лаборатории института под руководством Б. В. Круссера. Конструкция передающей камеры (рис. 5) обеспечивала работу системы в реальных условиях телевизионной студии. (Информация о выполненных работах была дана в газете «Комсомольская правда» 14 марта 1935 г. в корреспонденции «Телевизор на 43000 точек».) Результаты этой работы легли в основу при создании отечествен-

ных характеристик зрительного анализатора человека, на основе которых были определены требования по разрешающей способности к телевизионной системе [3]. Эти исследования показали, что кажущаяся четкость телевизионного изображения при заданных яркости и способе разложения пропорциональна логарифму числа элементов. Анализ результатов позволил также установить связь между кажущейся четкостью изображения и числом строк разложения при заданных формате кадра, угле зрения и угле разрешения глаза. Полученные соотношения являются исходными для расчета числа строк или элементов разложения современных телевизионных систем. В частности, они позволяют определить достаточное число элементов ПЗС-матрицы и число строк, обеспечивающие заданное качество изображения.

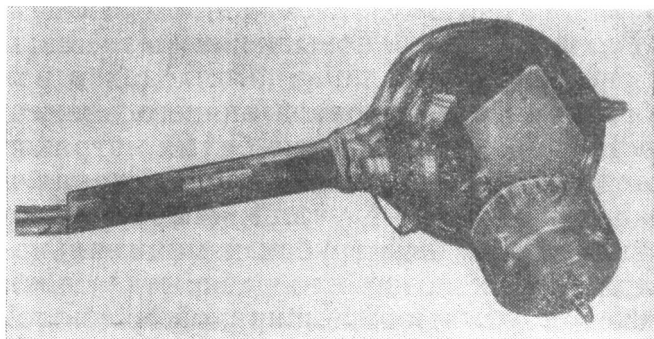


Рис. 4. Первая отечественная передающая трубка иконоскоп с накоплением заряда

Кроме того, были исследованы вопросы, связанные с обоснованием выбора требуемой четкости изображения для телевизионных систем различного назначения, а также выбора числа кадров вещательной телевизионной системы.

С появлением систем с накоплением заряда стало необходимым установить нужную освещенность передаваемого объекта в системе с накоплением с учетом реальных помех на входе усилителя. Были получены соотношения, определяющие требуемую освещенность для идеализированных систем мгновенного действия и систем с накоплением заряда [1].

Результаты указанных исследований позволяют решить и другую задачу — определить необходимое число строк телевизионной системы при оптимальных условиях наблюдения изображения (угле зрения или расстояния рассматривания изображения заданного размера) и найти величину снижения кажущейся четкости при изменении расстояния наблюдения изображения относительно оптимального (изменении угла зрения); эти результаты явились основой для определения параметров современных систем вещательного телевидения и телевизионных систем будущего.

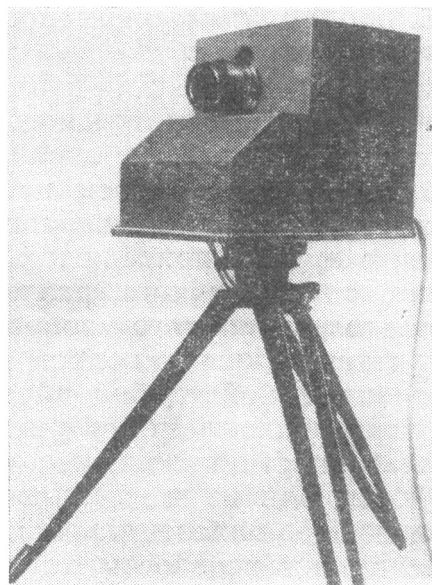


Рис. 5. Первая телевизионная камера на трубке иконоскоп

#### **Проблемы разрешающей способности телевизионных систем в работах кафедры телевидения ЛЭТИ**

В связи с широкими перспективами развития телевизионного вещания в послевоенные годы возникла необходимость подготовки высоко-

квалифицированных инженерных и научных кадров для телевизионной промышленности. В 1945 г. в Ленинградском электротехническом институте им. В. И. Ульянова (Ленина) организуется кафедра телевидения, которая начинает подготовку инженеров-радиостов со специализацией в области телевизионной техники. Кафедру возглавил Я. А. Рыфтин. С первых дней ее организации были начаты исследовательские работы по проблемам, связанным с разрешающей способностью телевизионных систем и качеством телевизионного изображения.

Важный шаг в повышении разрешающей способности телевизионных систем был сделан в 40-х годах в направлении изучения механизмов взаимодействия разлагающего элемента с черно-белым перепадом яркости или серией черно-белых штрихов убывающей ширины [4]. Исследование механизмов формирования выходного изображения телевизионной системы с учетом апертурно-частотных характеристик передающей и приемной трубок и минимально различного уровня сигнала на фоне помех позволило раскрыть основные закономерности передачи штрихов с убывающей шириной, расположенных в поле изображения вертикально и горизонтально, т. е., в конечном счете, определить оптимальное число строк и полосу частот усилительного канала.

Впервые были изучены особенности поперечного разложения. В частности, было показано влияние фазового соотношения между растровой структурой и структурой измерительной решетки на четкость формируемого изображения, получены соотношения и построены соответствующие графические зависимости для наилучшего и наихудшего случаев фазовых соотношений на предельных и более низких частотах. Эти результаты приобрели в настоящее время весьма важное значение в связи с проектированием систем на ПЗС-матрицах, осуществляющих пространственную дискретизацию в двух направлениях. Был также исследован механизм возникновения ложных компонентов в видеосигнале (посторонних узоров на изображении) и определены условия формирования телевизионного изображения с одинаковой четкостью вдоль и поперек строк [4]. Для этих условий подсчитано номинальное значение полосы частот усилительного канала с учетом потерь на обратные ходы по строкам и полям.

Ограничение полосы пропускания канала связи, с одной стороны, и стремление повысить разрешающую способность телевизионной системы, с другой, привели к разработке в конце 40-х годов метода апертурно-асимметричного разложения [5], позволяющего повысить четкость телевизионного изображения практически в два раза при сохранении неизменными полосы пропускания канала, разрешающей способности приемной трубки и частоты полей. При симметричной апертуре разлагающего элемента уменьшение апертуры приводит к повышению эффективности телевизионной системы в смысле ее разрешающей способности, однако это сопровождается возрастанием амплитуды ложных компонентов видеосигнала. В вещательных телевизионных системах увеличение интенсивности ложных компонентов крайне нежелательно. В связи с этим было предложено использовать асимметричную (близкую к щелевой) апертуру в сочетании с разложением чересстрочно-скользящим растром.

На пути практической реализации разработанного метода апертурно-асимметричного разложения чересстрочно-скользящим растром (кратности 5) возникли трудности, связанные с формированием асимметричной апертуры заданной конфигурации, а также с уменьшением заметности межстрочного мелькания на изображении (скольжения строк) при стандартном числе строк разложения (625). В настоящее

время дальнейшие исследования методов разложения чересстрочно-скользящим растром представляются перспективными для систем с повышенным числом строк, в которых заметность межстрочных мельканий существенно меньше.

Разрешающая способность телевизионной системы определяется аналогичными характеристиками отдельных ее звеньев: объектива, передающей трубки, канала связи и приемной трубки. В начале 50-х годов были решены вопросы взаимодействия и оптимизации характеристик отдельных звеньев телевизионной системы [6, 7]. В процессе анализа характеристики устройств разложения приближались к реальным (косинусоидальная, полуволновая и гауссова аппроксимации). Наиболее существенным результатом этих исследований явилось раскрытие механизмов взаимодействия параметров отдельных звеньев телевизионной системы и формулировка требований к ним с точки зрения реализации максимальных возможностей, определяемых выбранными параметрами разложения. Было показано влияние разрешающей способности передающей трубки на четкость телевизионного изображения, величину ложных компонентов и качество телевизионной передачи; в частности, определено, что при расчете телевизионной системы на заданное число линий передающая трубка должна иметь разрешение в 1,7—1,9 раз больше. При увеличении разрешающей способности передающей трубки с ростом четкости изображения, контрастности мелких деталей и качества телевизионной передачи резко возрастают помехи от ложных компонентов.

Важность проведенных исследований подтверждена многолетним опытом телевизионного вещания.

Одним из звеньев телевизионной системы, определяющим ее разрешающую способность и качество изображения в целом, является усилительный канал. В связи с этим одним из ведущих направлений исследований на кафедре телевидения в 50-е годы становится разработка методов расчета, проектирования и оптимизации характеристик видеоусилителей. Данные работы проводились О. Б. Лурье; они были продолжением его исследований, начатых в довоенные годы [8]. К числу наиболее важных разделов этого цикла исследований следует отнести изучение нестационарных процессов в широкополосных усилителях. Результатом исследований явилась разработка основ анализа и инженерных принципов расчета видеоусилителей, основанных на использовании метода переходных характеристик. Предложенные методы расчета видеоусилителей широко использовались при проектировании соответствующей аппаратуры создававшихся в те годы телевизионных центров [9].

Полный переход в телевизионном вещании на использование трубок с накоплением заряда привел к необходимости дальнейшей разработки теории их работы, в частности теории разрешающей способности и взаимодействия коммутирующего пучка с потенциальным рельефом передающих трубок с накоплением энергии. В исследованиях, проведенных в 1953—1957 гг. [10, 11], обобщены результаты изучения механизма формирования видеосигнала в передающих трубках с накоплением энергии. Удалось установить, что качество работы таких трубок зависит не только от распределения плотности тока в коммутирующем пучке, но и от соотношения между освещенностью передаваемых участков изображения, током коммутирующего пучка и относительным смещением строк.

В последующие годы было исследовано влияние относительного смещения строк на важнейшие характеристики трубок с накоплением. Было установлено, что уменьшение относительного смещения строк при-

водит к сравнительно небольшому уменьшению резкости передачи, значительному падению чувствительности и к существенному снижению контрастности передачи мелких деталей изображения [12]. Было определено также, что в большинстве реальных трубок еще не используются потенциальные возможности телевизионного стандарта, и указаны практические способы повышения разрешающей способности передающих трубок путем анаморфирования изображения, в особенности в трубках со сферической мишенью [13].

Дальнейшие исследования в области изучения передающих трубок с накоплением заряда, выполненные с учетом зависимости коэффициента вторичной электронной эмиссии мишени от скорости первичных электронов, показали, что мишень разряжается преимущественно передней кромкой коммутирующего пятна, величина и форма которой зависят от относительного смещения строк и способа разложения: она изменяется (пульсирует) при изменении освещенности изображения. Эти работы привели к открытию эффекта пульсации-адаптации электронного пятна на мишени электроннолучевых трубок с накоплением заряда [14]. Блестящим подтверждением теоретических выводов явилось экспериментальное наблюдение активной части электронного пучка в трубках с накоплением заряда, выполненное Я. А. Рыфтиным совместно с Л. Л. Полосиным [15], а также Г. А. Эйсенгардтом совместно с К. А. Магомедовым (рис. 6) [16] на промышленных образцах передающих трубок.

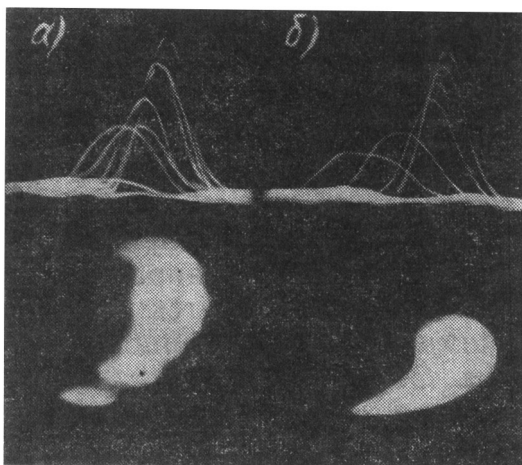


Рис. 6. Изменение формы активной части пучка видикона при уменьшении шага разложения от 200 мкм (а) до 100 мкм (б). Осциллограммы соответствуют сечениям активной части пучка в направлении строчной развертки

Исследования по разработке теории разрешающей способности и качеству телевизионного изображения обобщены в монографии Я. А. Рыфтина «Телевизионная система» [17].

В процессе экспериментальных исследований вопросов, связанных с оценкой разрешающей способности телевизионных систем, возникла необходимость в создании научно обоснованных методов измерения разрешающей способности, переходных характеристик и других параметров как системы в целом, так и ее отдельных звеньев.

Благодаря таким исследованиям в конце 50-х годов создана новая методика оценки разрешающей способности передающих телевизионных трубок, основанная на использовании испытательных таблиц с зонами Френеля [18]. Штриховые миры с зонами Френеля, предназначенные для оценки поперечной разрешающей способности, включены в ГОСТ 14872-69 на телевизионные испытательные таблицы. Новая методика дала возможность непосредственно в процессе испытания установить, для какого числа строк полноценного разложения пригодна данная трубка, камера, система.

В это же время разрабатываются соответствующие приборы для измерения переходной характеристики телевизионной системы «от света до света» [19], а также методы и приборы для измерения величины спаривания строк на мишени передающей телевизионной трубки [20].



Предложенные методы были реализованы в промышленных разработках измерительных комплексов, используемых на телецентрах страны.

Создание методов и на их основе приборов для измерения разрешающей способности и других параметров телевизионной системы, определяющих результирующее качество телевизионного изображения, привело к необходимости совершенствования общей теории оценки качества изображения и установления связи между физическими параметрами изображения и субъективной оценкой качества его восприятия наблюдателем. Работы данного направления применительно к задачам, выдвигаемым телевизионным вещанием, были выполнены в 60-х годах М. В. Антипиным [21]. Один из основных результатов этого цикла исследований — разработка интегрального критерия оценки качества телевизионного изображения, который позволил по совокупности отдельных параметров дать оценку качеству изображения, адекватную оценке изображения, воспринимаемого наблюдателем. Так как разработанные методы оценки качества изображения базируются на формализации сенсорных характеристик зрительного анализатора, они оказались пригодными для оценки качества кино- и других изображений. Это позволило решить актуальную задачу — сопоставить качество изображения, формируемого различными системами воспроизведения (телевизионными, фотографическими, кино и др.), с единых позиций и в единой метрике.

Дальнейшие исследования, выполненные на кафедре телевидения в области повышения четкости телевизионного изображения, посвящены анализу систем вещательного телевидения в конкретных условиях их работы, а также вопросам выбора характеристик телевизионных систем будущего [22, 23]. Обоснование выбора оптимального числа строк произведено с учетом возможностей современной телевизионной техники; было показано, что для телезрителей, находящихся в оптимальных условиях наблюдения изображения, эта величина составляет около 1250 строк. На основе проведенных исследований были сформулированы соответствующие требования по разрешающей способности к фотоэлектрическому преобразователю и объективу и установлено значение требуемой полосы пропускания канала связи. При использовании чересстрочно-скользящего раstra кратности 5 полоса пропускания канала связи для предлагаемой системы должна составлять около 11 МГц.

Исследования апертурно-частотных характеристик поперечного разложения, результаты которых изложены выше, позволили не только сформулировать задачу и оценить разрешающую способность фоторегистрирующих систем с двумерной дискретизацией (ПЗС-матриц и др.), но и найти решение ряда вопросов оптимизации таких преобразователей [24, 25]. В случае двумерной дискретизации изображений разложение вдоль строк перестает быть непрерывным, и известные методы оценки продольных характеристик становятся непригодными в силу зависимости результата измерения от относительного расположения штрихов испытательной таблицы и элементов матрицы. Эти трудности увеличиваются в связи с некоторыми особенностями физических процессов, протекающих в элементах ПЗС-матриц, в связи со спецификой чересстрочного считывания и другими факторами. В моделях и на реальных ПЗС-матрицах показана возможность использования для измерения разрешающей способности дискретных фотоэлектрических преобразователей таблиц с зонами Френеля [25].

## Заключение

Приведенный краткий обзор охватывает работы по проблемам, связанным с изучением механизмов работы фотоэлектрических преобразователей, повышением разрешающей способности вещательных телевизионных систем и улучшением качества формируемого изображения, выполненные в основном на кафедре телевидения ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина). Кроме того, на кафедре был проведен большой объем исследований по разработке телевизионных систем прикладного назначения [26], анализ которых выходит за рамки настоящего обзора.

В связи с развитием систем цветного телевидения, а также ввиду перспективности разработок телевизионных систем на дискретных фотоэлектрических преобразователях, проблемы разрешающей способности и качества телевизионного изображения остаются актуальными и требуют своего дальнейшего развития.

При подготовке данного обзора использовались материалы из архива профессора Я. А. Рыфтина.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рыфтин Я. А. К расчету параметров телевидения. ЖТФ, АН СССР, 1934, вып. 7, с. 1375 — 1386.
2. Рыфтин Я. А. Проблема телевидения. «Ленинградская правда», 1931, № 299.
3. Рыфтин Я. А. О четкости и качестве изображений в телевидении. ЖТФ, АН СССР, 1933, вып. 2 — 3, с. 343 — 364.
4. Рыфтин Я. А. Разрешающая сила телевизионных систем. ЖТФ, АН СССР, 1947, вып. 4, с. 401 — 424.
5. Рыфтин Я. А. Метод апертурно-асимметричного разложения в телевидении. ЖТФ, АН СССР, 1949, вып. 7, с. 804 — 821.
6. Рыфтин Я. А. К оценке разрешающей способности телевизионных трубок. В сб., посвященном 70-летию академика А. Ф. Иоффе, изд. АН СССР, 1950, с. 488 — 509.
7. Рыфтин Я. А. Переходные процессы в передающих трубках, работающих без накопления энергии. ЖТФ, АН СССР, 1953, вып. 7, с. 1592 — 1608.
8. Лурье О. Б. Нестационарные явления в широкополосных усилителях. ЖТФ, 1936, вып. 2, с. 334 — 339.
9. Лурье О. Б. Усилители видеочастоты. М., «Сов. радио», 1961.
10. Рыфтин Я. А. К возможности нормального разложения трубками с накоплением энергии. ЖТФ, АН СССР, 1955, вып. 12, с. 2215 — 2232.
11. Рыфтин Я. А. О механизме электронной коммутации в телевизионных трубках с накоплением энергии. ЖТФ, АН СССР, 1957, вып. 8, с. 1870 — 1885.
12. Рыфтин Я. А. Нормальная разрешающая способность телевизионной системы. «Техника кино и телевидения», 1960, № 4, с. 10 — 16.
13. Рыфтин Я. А. Трубка сферикон. «Изв. ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)», 1972, вып. 101, с. 12 — 20.
14. Рыфтин Я. А. Эффект пульсации-адаптации электронного пятна на мишени электроннолучевой трубки с накоплением энергии (заряда). «Техника кино и телевидения», 1967, № 2, с. 30 — 42.
15. Рыфтин Я. А., Полосин Л. Л. О наблюдении активной части электронного пучка в трубках с накоплением заряда. «Техника кино и телевидения», 1965, № 10, с. 8 — 14.
16. Эйссенгардт Г. А., Магомедов К. А. О наблюдении активной части пучка в видеоконках. «Техника кино и телевидения», 1974, № 11, с. 48 — 51.
17. Рыфтин Я. А. Телевизионная система (теория). М., «Сов. радио», 1967.
18. Рыфтин Я. А., Антипин М. В. Новая методика оценки разрешающей способности передающих телевизионных трубок. ЖТФ, АН СССР, 1959, вып. 2, с. 252 — 260.
19. Рыфтин Я. А., Эйссенгардт Г. А., Семенов В. Н. Прибор для построения характеристик телевизионной системы от света до света. «Техника кино и телевидения», 1964, № 11, с. 41 — 46.
20. Семенов В. Н. Измерение величины спаривания строк на мишени телевизионной передающей трубки. «Изв. ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)», 1968, вып. 69, с. 12 — 17.

21. Антипин М. В. Интегральная оценка качества телевизионного изображения. Л., «Наука», 1970.
22. Рыфтин Я. А. Перспективы радикального повышения разрешающей способности в телевидении. «Успехи физ. наук», АН СССР, 1970, т. 102, вып. 2, с. 57 — 64.
23. Рыфтин Я. А. О ТВ-изображении будущего. «Техника кино и телевидения», 1980, № 8, с. 4 — 11.
24. Рыфтин Я. А. О разрешающей способности приборов с зарядовой связью. «Изв. ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)», 1979, вып. 239, с. 17 — 22.
25. Семенов В. Н., Эйсенгардт Г. А. Оценка характеристик ФЭП с пространственной дискретизацией изображений. «Техника кино и телевидения», 1981, № 2, с. 38 — 44.
26. Быков Р. Е., Рыфтин Я. А. Некоторые проблемы формирования и обработки телевизионного сигнала. «Изв. ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)», 1976, вып. 199, с. 3 — 11.

Статья поступила 12 июня 1981 г.

---