

**Отечественное космическое телевидение. История развития.
Расширенная рецензия на монографию «Теория и практика космического
телевидения»**

**National space television. Development history. Detailed review of monograph
“Theory and practice of space television”**

Евсеев / Evseev V.

Владимир Иванович

(v.evseev43@mail.ru)

доктор технических наук, профессор.

Северо-Западное отделение Федерации

Космонавтики России,

старший научный сотрудник.

г. Санкт-Петербург

Лосик / Losik A.

Александр Витальевич

(poHorak2006@yandex.ru)

доктор исторических наук, профессор.

Журнал для учёных «КЛИО»,

заместитель главного редактора.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: космическое телевидение – space television; компонентная база – component data-base; статистический анализ и синтез – statistic analysis and synthesis; качество изображений – image quality; цифровое телевидение – digital television; инфракрасный диапазон волн – infrared wave range; статистические свойства сигналов – statistic properties of signals; телевизионные камеры – television cameras; развитие космического телевидения – development of space television.

Коллективная монография учёных и специалистов АО «НИИ телевидения» посвящена вопросам рождения, развития и формирования научно-технической школы космического телевидения (КТВ). Эта школа более 60 лет работает над созданием теории и практики КТВ как одного из первых в мире средств дистанционного наблюдения Земли с борта космических аппаратов различного назначения. Использован системный подход к анализу и синтезу теоретических основ и решённых практических задач с применением средств КТВ. Представлены оригинальные технические решения, определившие на много лет структуру и состав создаваемых бортовых и наземных аппаратных комплексов для систем КТВ.

Multi-authored monograph of scientists and specialists of JSC Television Scientific Research Institute is dedicated to the issues of birth, development and generation of science and engineering school of space television. For more than 60 years this school is working on creating the theory and practice of space television, as one of the first means of remote observation of the Earth from different purpose spacecraft. Comprehensive approach is used for analysis and synthesis of theoretical basis and practical tasks solved with the use of space television means. Original technical solutions, which predefined the structure and composition of created onboard and ground-based hardware complexes for space television systems for years ahead, are given.

Статья представляет собой аналитический материал в виде расширенной рецензии на монографию «Теория и практика космического телевидения» [1]. Монография подготовлена коллективом учёных и специалистов, многие годы работающих на переднем крае отечественной космической телевизионной науки и техники. Она представляет собой историко-техническую структурную и содержательную части методологии создания, проведения научных исследований, реализации технических решений в одном из главных направлений исследований и освоения космического пространства, дистанционного наблюдения (зондирования) Земли и других планет с использованием систем космического телевидения. В основу создания монографии была положена первая попытка представить обобщающие данные о развитии космического телевидения, полученные советскими учёными и специалистами к 1967 году [2].

Без создания и применения бортовых и наземных аппаратных комплексов дистанционного наблюдения (зондирования) различных объектов, без надёжно работающих средств навигации и управления, каналов связи, передачи информации, мощных центров обработки информации практическое использование космических аппаратов (КА) не имеет смысла. Именно такой системный подход заложен в основу философии и методологии космического телевидения (КТВ), теоретические и практические работы коллектива АО «НИИ телевидения» с первых шагов и по настоящее время. Так считал С. П. Королёв, который активно поддерживал разработку систем КТВ во ВНИИТе и был инициатором выдачи Технического задания на создание первых образцов аппаратуры КТВ.

В первой главе монографии, посвящённой «методологии космического телевидения», подчёркивается, что

в основу философии и теоретических исследований НИИ телевидения в области КТВ положено понятие (термин) «малокадровое телевидение», предложенное теоретиками КТВ С. И. Катаевым и Л. И. Хромовым [3]. Они провели анализ задачи и обосновали содержание этого понятия, а также сформулировали различие между вещательным ТВ и малокадровым ТВ. Вещание – строго регламентированная стандартами передача подвижных изображений, ориентированная на комфортное их восприятие массовым зрителем. Малокадровое ТВ – передача подвижных изображений, ориентированная на адаптивное согласование свойств источника информации, канала связи и получателя (пользователя). В результате такого разграничения родилось «золотое правило» малокадрового ТВ: если нужны широкий угол зрения и большая разрешающая способность на местности, то следует применить сканирующую систему; если нужна высокая чувствительность, то следует применить систему с кадровым накоплением. Это правило остаётся устойчивым к развитию технологии фотоприёмников. Именно такой подход оказался новым путём к статистическому синтезу телевизионных систем, до сих пор не принятому большинством специалистов телевизионного вещания.

Первая в мире космическая телевизионная система «Енисей» была создана во ВНИИТВ и запущена в космос (4 октября 1959 г.) на борту автоматической межпланетной станции «Луна-3» с целью получения изображения обратной стороны нашего естественного спутника. Такая задача была поставлена коллективу С. П. Королёвым, который высоко оценил его разработки. Руководителями проекта были главный конструктор И. Л. Валик и его заместитель П. Ф. Брацлавец [4].

Следующая космическая электронная ТВ система «Селигер» была создана для наблюдения за живыми объектами внутри КА и запущена в космос 19 августа 1960 года на корабле «Восток» № 2 с собачками Белкой и Стрелкой на борту [4]. Славная страница истории использования КТВ была написана 12 апреля 1961 года, когда ТВ камера системы «Селигер» работала во время всего полёта Юрия Гагарина на космическом корабле «Восток-3». В музее НИИ телевидения хранятся материалы полёта и камеры ТВ, которые, хотя и со скромным качеством, передавали изображение первого космонавта Земли.

Первой ТВ системой высокой чёткости для наблюдения наземных объектов стала фототелевизионная система «Байкал», которая была разработана и испытана в реальных условиях в период 1957–1962 гг. Последующие образцы подобной системы, такие как «Печора» и «Лидер» (1960–1970-е годы), имели более совершенные характеристики: не требовали участия операторов и имели существенно более высокую производительность.

Естественным использованием систем КТВ с самого начала рассматривалась задача обеспечения обороноспособности страны. Например, в СССР была создана система предупреждения о ракетном нападении (СПРН),

в частности, в интересах обнаружения стартов ракет [5]. Велись разработки экспериментальных образцов систем КТВ с глубоким охлаждением, работающих в различных диапазонах спектра волн на различных видах фотоприёмников: электронно-лучевых трубках, приборах с зарядовой связью, твёрдотельных электронных преобразователях.

Следует сказать, что именно рождённое в Ленинграде, во ВНИИТе, космическое телевидение распространилось по всему миру, как и радиосвязь, изобретённая в нашем городе А. С. Поповым, родившемся за 100 лет до передачи из космоса изображения обратной стороны Луны!

Вторая глава монографии посвящена теоретическим основам КТВ с использованием статистического анализа и синтеза систем. Космическая видеоинформатика как научное направление обладает рядом специфических свойств, например исключительной надёжностью работы на всех этапах жизненного цикла системы в условиях, диктуемых воздействием факторов космического пространства.

Синтез информационных систем подразделяется на теоретический и инженерный, главной чертой последнего является чётко сформулированная цель, решаемая системой. Теоретический синтез информационных систем, средств, приборов имеет также две составляющие: структурный и параметрический. Стратегия синтеза строится на основе опорной триады: априорной информации, критериев качества и различных ограничений [6]. Идейный облик видеоинформационной системы определяет теоретический раздел проектирования – статистический синтез, проводимый в условиях набора исходных требований (например, максимальное количество информации, приемлемое качество изображения при наличии ряда критериев и ограничений). В свою очередь, уровень качества должен учитывать разрешающую способность и отношение сигнал/шум, что обеспечивается методами статистической теории связи и обработки информации, анализом статистических свойств сигналов, их различением и оцениванием параметров, формированием априорной информации для синтеза.

Решение задач наблюдения объектов на Земле или в Космосе с учётом реальной фоно-целевой обстановки осуществляется в несколько этапов, в частности, на этапах первичной и вторичной обработки сигналов (изображений). В ходе первичной обработки решаются две задачи: принимается решение об обнаружении или пропуске объекта наблюдения (цели или фона) и определение координат обнаруженных объектов. Вторичная обработка сводится к установлению траекторий объектов, селекция объектов по отношению к фоновым объектам (например, селекция искусственного спутника Земли на фоне звёзд) по типу траектории и оцениванию параметров этих траекторий в процессе сопровождения объектов с учётом возможного смаза изображения цели или фона.

Отметим необходимость применения кодирования источника и канала, которые неоднократно чередуются в КТВ [7]. Например, накопление сигнала в пикселе фотоприёмника относится к кодированию источника, а считывание сигнала с фотоприёмника (развёртка) – к кодированию канала. При цифровом кодировании также сначала осуществляется кодирование источника (сжатие информации), затем кодирование канала. Сжатие информации обычно подразделяют на обратимое (без потерь) и необратимое (с потерями информации). В ТВ камерах кодирование источника осуществляется всегда с потерями информации, но имеет целью не минимизацию потерь, а максимизацию качества информации.

Рассматриваемая в данной главе задача адаптации ТВ системы при сопровождении объектов ориентирована во многом на кодирование источника и определяет структуру и параметры ТВ камер с учётом переменного или постоянного скоростного смаза в пределах времени формирования кадра. При постоянном скоростном смазе производится оптимизация зоны накопления сигнала, при переменном скоростном смазе – адаптация ТВ системы.

При проектировании ТВ систем первой проблемой, связанной с идеей адаптации, стала максимизация качества изображения при изменениях освещённости наблюдаемого сюжета [8]. При решении задачи максимизации качества информации может оказаться, что требуемые оптимальные значения размера пиксела и кадровой частоты одновременно не достижимы. Отсюда возникает идея взаимообмена кадровой частоты и чёткости изображения: на большой дистанции актуальна предельная чёткость, на близкой – предельная кадровая частота. Идея такого подхода во многом является следствием итерационного принципа контроля сближения и стыковки КА, выдвинутого С. П. Королёвым, и простого правила: каждому сюжету должен соответствовать свой оптимальный видеоряд.

На начальном этапе развития КТВ кодирование канала сводилось к использованию аналоговых каналов с амплитудной или частотной модуляцией и во многом опиралось на стандарты аналогового вещательного телевидения. Однако стремление к повышению качества информации породило переход к цифровым методам кодирования не только при кодировании источника, но и при кодировании канала. Но если методы кодирования источника имеют целью устранение избыточности сообщения, то методы кодирования канала характеризуются введением дополнительной избыточности, позволяющей максимально приблизить скорость передачи информации (при наличии ограничений) к пропускной способности канала.

Одним из основных вопросов, относящихся к передаче данных с заданной скоростью, является распределение энергии в спектре электрического сигнала, переносащего информацию, и согласование этого распределения с характеристиками канала связи. Подобное

согласование выполняется путём использования кодирования исходных данных за счёт обеспечения специальной формы импульсов, переносящих данные, например с помощью различных видов модуляции, в частности, способов многопозиционной модуляции. При этом важно учитывать характеристики канала передачи данных. Например, для каналов цифрового КТВ в качестве оптимальных были выбраны способы модуляции одной несущей.

Существенным достижением отечественного космического телевидения стала разработка методологии и практическая реализация спутникового телевизионного вещания на основе канального кодирования. Бурное развитие этого направления привело к тому, что в настоящее время стал возможен приём сигналов с искусственных спутников Земли (ИСЗ) малой и средней мощности на недорогие приёмные антенны спутникового ТВ коллективного пользования, вполне доступные корпоративным и индивидуальным пользователям. Современные цифровые технологии снизили требования к мощности ретрансляторов ИСЗ службы спутникового вещания для диапазона 12 ГГц. Кроме того, цифровые технологии позволяют применять современные математические модели для обработки ТВ сигналов с целью оптимизации основных параметров систем КТВ. Таким образом, теория космического телевидения, которая развивается в НИИ телевидения на протяжении более полувека, постоянно взаимодействует с новыми технологиями, что позволяет обосновать и осуществить синтез новых ТВ систем и является основой практики космического телевидения.

Глава 3 монографии посвящена практической реализации аппаратуры и оборудования для систем КТВ с учётом особенностей их эксплуатации в атмосфере и космическом пространстве, что во многом сказывается на сроках службы систем (в первую очередь, фотоприёмников) и их эффективности. К подобным особенностям можно отнести следующие: ионизирующее излучение Солнца, космическая радиация, химически активные компоненты плазмы в атмосфере Земли, статические электрические разряды, термические и механические воздействия и др. [9]. Специалисты института разработали и применили ряд методов нейтрализации влияния подобных неблагоприятных факторов с обеспечением цикла комплексных испытаний. Например, при разработке фотоприёмной матрицы применены меры повышения стойкости к ионизирующему излучению космического пространства, среди которых укажем следующие: технологические, схемотехнические и системные (например, использование методов кодовой защиты).

Основу систем КТВ составляют космические ТВ камеры. Современные камеры, выполненные на основе твёрдотельных фотоприёмников, подразделяются на несколько подклассов [10, 11]:

– по условиям эксплуатации: внутриотсечные и забортные;

- по типу развёртки: кадровые, строчные, с режимом временной задержки и накопления, одноэлементные;
- по технологии фотоприёмника: матричные КМОП приёмники и на приборах с зарядовой связью (ПЗС);
- по разрешающей способности: стандартные, высокой и сверхвысокой чёткости;
- по типу оптической системы: узкоугольные и широкоугольные, в том числе, панорамные;
- по спектральным диапазонам: монохромные видимого, ближнего инфракрасного и ближнего ультрафиолетового диапазонов, цветные, многоспектральные;
- по типу получателя: для визуального наблюдения и для автоматического получателя (астродатчики, роботы);
- с резервированием и без резервирования каналов;
- с единственной или несколькими оптическими системами, с одинаковыми или разными углами зрения.

Схемотехника космических ТВ камер при большом разнообразии конструкций имеет много общих черт, что позволяет существенно облегчить разработку компонентной базы, уменьшить массогабаритные характеристики и унифицировать конструкторские требования для производства линейки камер.

Обязательным требованием к созданию ТВ камер служит проведение контроля их параметров с помощью автономных и комплексных испытаний. Например, для ТВ камеры звёздного датчика была разработана контрольно-поверочная аппаратура, обеспечивающая:

- формирование на матричном ПЗС изображения световых пятен, имитирующих изображение звёзд;
- приём информации, переданной о координатах звёзд и их светимостях, а также изображения звёздного неба с отображением на видеомониторе персонального компьютера;
- архивацию полученных изображений.

Одной из важных практических реализаций разработок НИИ телевидения стали разработка, изготовление, испытание и поставка «РКК «Энергия» по заказу Европейского космического агентства кодера MPEG2 ЕКА, предназначенного для обеспечения визуального контроля за причаливанием европейских автоматических космических грузовых кораблей. Основные характеристики кодера:

- скорость потока сжатого видео – не более 4 Мбит/с;
- формат изображения – 720x576, частота кадров/полей – 25/50 Гц;
- изображение – чёрно-белое, обеспечивается поддержка цветного;
- срок службы – 7 лет.

Примером современных систем КТВ может служить комплекс для контроля сближения космических аппаратов. Для наблюдения процесса стыковки КА на обоих устанавливаются ТВ камеры с «горячим» резервированием всего тракта от оптики до сигнала изображения. Подобные камеры, входящие в комплекс КЛ-100, создавались в соответствии с принципом итерационной стыковки С. П. Королёва.

Одним из первых комплексов этой серии является аналоговый ТВ комплекс КЛ-100-01М5 (2008–2011). Он предназначен для решения следующих задач служебного ТВ при работе в составе транспортного комплекса «Союз ТМА-М»:

- наблюдения процесса сближения космических кораблей;
- ведения ТВ репортажей из спускаемого аппарата;
- трансляции ТВ сигнала режима ручного управления спускаемым аппаратом;
- передачи на Землю по радиолинии ТВ информации на старте, на активном участке и с орбиты спутника и ряда других.

Для применения в составе транспортно-грузового комплекса «Прогресс М-М» разработан ТВ комплекс КЛ-100-19М1, который осуществляет наблюдение за сближением космических кораблей в процессе сближения и стыковки.

Первой полностью цифровой ТВ системой стал ТВ комплекс КЛ-100-01Ц, предназначенный для работы в составе транспортного комплекса «Союз МС». Он имеет цифровую радиолинию и решает все необходимые задачи на всех участках полёта и стыковки кораблей.

Телевизионный комплекс КЛ-100-52 (МЛМ) (2011–2012) разработан для использования в составе многоцелевого лабораторного модуля при решении задач служебного телевидения. В частности, для формирования ТВ изображения Международной космической станции (МКС) с помощью внешней ТВ камеры в процессе сближения в телеоператорном режиме управления.

Отметим кратко ещё ряд разработок коллектива НИИ телевидения для решения прикладных задач отечественной космонавтики.

1. Телевизионная система биоспутника БИОН-М, разработанная для научной программы «БИОН», начатой в 1973 году. Программа предназначена для проведения комплексных физиологических, морфологических, биохимических, генетических исследований на животных и растительных организмах в полётах на борту специальных спутников.

2. Телевизионная система скафандра «Орлан-2», предназначенного для внекорабельной деятельности космонавтов. ТВ система расположена на шлеме космонавта.

3. Метеорологические приёмные комплексы. Они актуальны для удалённых районов страны и принимают метеоинформацию как на стационарные, так и на мобильные пункты приёма, число которых превысило 300 комплектов. Важность такой информации возрастает в связи с активным освоением Арктики и потребностью иметь данные об образовании и движении крупных облачных образований.

4. Тренажёрные комплексы для космонавтов в составе тренажёров «Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов им

Ю. А. Гагарина» для подготовки экипажей к управлению кораблём «Союз» на всех участках полёта в штатных и аварийных ситуациях, а также в режиме сближения и стыковки с МКС. В частности обеспечивается работоспособность и модернизация телевизионных комплексов «Сапфир», «Фианит», «Агат», «Гранит».

5. Важным направлением работы коллектива НИИ телевидения в представленной области отечественной космонавтики служит поддержание и развитие телевизионной инфраструктуры космодромов. Наиболее значимыми областями использования ТВ систем на космодромах являются:

- обеспечение контроля выполнения технологических операций при сборке, испытаниях, подготовке и запуске ракет-носителей, космических кораблей и межорбитальных станций;
- мониторинг состояния объектов инфраструктуры космодромов;
- получение видеoinформации с КА и других летательных аппаратов;
- отображение наиболее значимой информации на рабочих местах должностных лиц космодромов и операторов расчётов и дежурных смен;
- обеспечение охраны и безопасности космодрома и его объектов.

В Главе 4 монографии приведены взгляды специалистов НИИ телевидения на перспективы и основные тенденции развития космического телевидения [12], которые находятся в тесной связи со стратегическими направлениями отечественной космонавтики. Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы нацелена, в частности, на создание КА нового поколения с характеристиками, превышающими данные лучших мировых образцов, на опережающее создание ключевых технологий, элементов и приборов для наиболее приоритетных космических комплексов, реализация которых намечается на период после 2025 года.

Не останавливаясь на более подробном изложении перспективных задач отечественной космонавтики, отметим, что в создании необходимых аппаратурных комплексов различного назначения космическое телевидение занимает одно из ведущих мест.

Космическое телевидение будет ответственным за получение, сбор и распределение видеoinформации в необходимом объёме и с требуемым качеством. Для этого надо будет обеспечить резкое увеличение пропускной способности каналов связи и производительности бортовых компьютеров. Достижение высокого качества видеoinформации, передаваемой из космоса на наземные пункты, потребует надёжной опоры на получение и полный учёт исходных (априорных) данных о наблюдаемых сюжетах (наземная и космическая фоно-целевая обстановка). При этом будут широко использоваться методы получения многоспектральной и гиперспектральной информации, параллельной (комплексной) её обработки с применением нейросетевых методов обработки.

Перечень критических технологий РФ (утверждён Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011) даёт основания для определения главных задач, стоящих перед системами космического ТВ:

- базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники (п. 1 Перечня);
- технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения (п. 19 Перечня);
- технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (п. 21 Перечня);
- технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств (п. 25 Перечня).

Конкретизация направлений развития технологий, имеющих отношение к космическим ТВ системам, даётся в ряде Федеральных целевых программ, в частности, в программе «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники». Выполнение программы позволит вести разработку космических систем с использованием радиационнотойстойкой электронной компонентной базы и обеспечить реальное импортозамещение этой базы в оборонной технике, приборах и оборудовании.

Основные направления технологического развития систем КТВ можно свести к следующим положениям:

1. Освоение производства и применения фотоприёмных матриц большого формата и видеосистем на кристалле, объединяющих массив данных и устройства принятия решений. Главными структурами фотоприёмников станут приборы с цифровым пикселем и объединением аналогового и цифрового накопления. Общая тенденция – переход от технологии фотоприёмников на ПЗС структурах к технологии КМОП. Такие фотоприёмники и, в особенности, видеосистемы на кристалле базируются на процессах уровня 0,18...0,09 мкм.

2. Переход к созданию и использованию быстродействующих крупноформатных матричных КМОП фотоприёмников. Это обеспечит реализацию распараллеливания считывания видеоданных и использование в космической технике матриц с высокими кадровыми частотами, что актуально, например, при наблюдении гроз.

3. Интеграция аналого-цифрового преобразователя непосредственно в пиксел. Использование смешанного аналого-цифрового накопления позволит многократно увеличить контрастную чувствительность КМОП фотоприёмника, вплотную подойдя к пределу, ограниченному фотонной структурой света.

4. Решение задачи сопряжения ТВ системы и навигационных датчиков, которая становится актуальной в условиях нестабильности ориентации КА, например при посадке на лунную поверхность.

5. Перспективные технологии космической связи позволят наращивать пропускную способность каналов связи при наличии физических ограничений на ширину полосы, мощность и размеры антенн.

6. Широкое распространение получают космические подвижные роботы, перемещающиеся по поверхности станции, а на её поверхности будет создана перемещающаяся рука-манипулятор. Телекамеры системы технического зрения будут установлены не только на корпусе робота, но и на его манипуляторах, имеющих семь степеней подвижности.

В заключение приведём ряд положительных факторов и результатов, сопровождавших деятельность коллектива НИИ телевидения.

1. Отечественные учёные, инженеры, изобретатели шли непроторённой дорогой, проявляя чудеса творческого начала в исследованиях и технических решениях. Их можно смело назвать первопроходцами в этой сложной сфере познания.

2. Практически все научные достижения и технические решения коллектива получены усилиями и мастерством собственных сотрудников и партнёрских организаций, без скидок на трудности, которые всегда были и будут и которые преодолевали русские умельцы.

3. С первых шагов в организации исследований и практических работ в космической сфере деятельности в стране была создана система и кооперация исполнителей, которая стала способна решать в короткие сроки практически любые научные, исследовательские и производственные задачи по развитию космического телевидения.

4. В процессе работы коллектива получены десятки и сотни официально оформленных и внедрённых изобретений и инноваций. Большинство из них апробированы и реализованы в образцах отечественной космической техники и аппаратурных комплексов. Благодаря этому не возникала проблема импортозамещения, которая характерна современному этапу развития систем, в том числе, оборонного и двойного назначения.

5. В монографии содержится внушительный список использованной литературы, преимущественно российских авторов, которые активно публиковали свои достижения без дополнительного стимулирования.

6. Деятельность НИИ телевидения в настоящее время говорит о том, что в институте и всей кооперации исполнителей сохранён творческий потенциал сотрудников, обеспечена преемственность поколений, несмотря на существующие в стране и в институте проблемы подготовки и подбора кадров. Такое положение является залогом успешного развития в будущем этого важного направления отечественной космонавтики.

Будет справедливо закончить статью-рецензию дополненной цитатой из монографии: «Космическое телевидение – мощный инструмент познания, предмет нашей законной национальной гордости, это слава России и одно из важных направлений обеспечения её обороноспособности!»

Литература

1. Теория и практика космического телевидения / А.А. Умбиталиев [и др.] ; под ред. А.А. Умбиталиева и А.К. Цыцулина. – СПб.: Изд-во НИИ телевидения, 2017. – 368 с.

2. Брацлавец, П. Ф. Космическое телевидение / П. Ф. Брацлавец, И.А. Росселевич, Л.И. Хромов. – 2-е изд. – М.: Связь, 1973. – 248 с.

3. Селиванов, А. С. Очерки истории и техники космического телевидения : Воспоминания разработчика / А. С. Селиванов. – М. : Издательский дом «Медиа Паблишер», 2010. – 192 с.

4. История космического телевидения в воспоминаниях ветеранов [Электронный ресурс] : Приложение к журналу ВРЭ, 2009. – Вып. 1. – Режим доступа: <http://www.niitv.ru>, свободный. – Заглавие с экрана.

5. Цыцулин, А. К. Телевидение и космос / А.К. Цыцулин. – СПб. : Изд-во СПбЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 238 с.

6. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного синтеза / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981. – 487 с.

7. Хромов, Л. И. Видеоинформатика / Л.И. Хромов, А.К. Цыцулин, А.Н. Куликов. – М.: Радио и связь, 1991. – 192 с.

8. Репин, В. Г. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М. : Сов. Радио, 1977. – 432 с.

9. Белоус, А. И. Космическая электроника / А.И. Белоус, В.А. Солодуха, С.В. Шведов. В 2-х кн. – М. : Техносфера, 2015.

10. Твёрдотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле / А.А. Умбиталиев [и др.] ; под ред. А. А. Умбиталиева и А. К. Цыцулина. – М.: Радио и связь, 2006. – 312 с.

11. Твёрдотельные телекамеры: накопление качества информации / А.К. Цыцулин [и др.]. – СПб. : Изд-во СПбЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 272 с.

12. Емельянов, А. А. Российская космическая система ДЗЗ. Сильные и слабые стороны. Перспективы развития / А.А. Емельянов // Материалы XIII НТК «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли» (Сочи, 12–16 сент. 2016). – Калуга : Манускрипт, 2016. – С. 13–17.