

## Цифровая революция в наблюдении поверхности Земли из Космоса

Б.И. Седунов

Российский Новый Университет, 105005, Москва, ул. Радио 22, E-mail:  
[Sedunov.b@gmail.com](mailto:Sedunov.b@gmail.com)

*Фотографирование поверхности Земли из Космоса развивается с первых лет освоения Космоса и достигло высокого уровня совершенства. Но оно не обеспечило требований по оперативности передачи фотографической информации на Землю и точности топографической привязки наблюдаемых объектов к карте Земли. Предложенная автором в 1973 году идея использования приборов с зарядовой связью (ПЗС) вместо фотоплёнки в космическом фотоаппарате позволила осуществить преобразование изображений в цифровую форму и передачу на Землю цифровой информации через спутник-ретранслятор на геостационарной орбите. Внедрение цифровых технологий позволило преодолеть недостатки аналоговых систем космического наблюдения. Уникальная цифровая система дистанционного зондирования Земли из Космоса Сплав стимулировала подготовку высококвалифицированных кадров и разработку новейшей микроэлектронной и оптоэлектронной технологии и элементной базы.*

*The Earth surface space photography develops from the first years of Space exploration and reached a high level of perfection. But it could not provide short enough time for information delivery and the needed level of topographic precision. Suggested by the author in 1973 idea to use in space photographic apparatus charge coupled devices (CCD) instead of the photosensitive film led to digital conversion of video signals and digital data sending to Earth via the geosynchronous satellite-retranslator. Digital technologies solved problems of analogous space observation systems. The unique Earth observation system named "Splav" stimulated preparation of top qualification personnel and development of brand new microelectronics and optoelectronics technology and its basic elements.*

### Введение

Эта лекция является продолжением и развитием лекции: "Принципы, заложенные в основу первой отечественной цифровой системы дистанционного зондирования Земли из Космоса и цифровых формирователей сигналов изображений для космических телескопов", прочитанной автором на Армандовских чтениях в 2015 году [1].

Главное внимание в настоящей лекции уделено использованию цифровых технологий в системах оперативного космического наблюдения. Здесь под цифровыми технологиями мы понимаем не только цифровое кодирование видеосигналов, но и дискретное пространственное распределение фоточувствительных элементов, обеспечивающее высокоточную привязку элементов изображения (пикселей) к поверхности Земли, необходимую для составления цифровых карт местности. Для качества получаемых изображений также огромную роль играет прецизионное цифровое управление полётом космического аппарата, лучами активных антенных фазированных решёток (АФАР) и режимами считывания информации с матриц ПЗС.

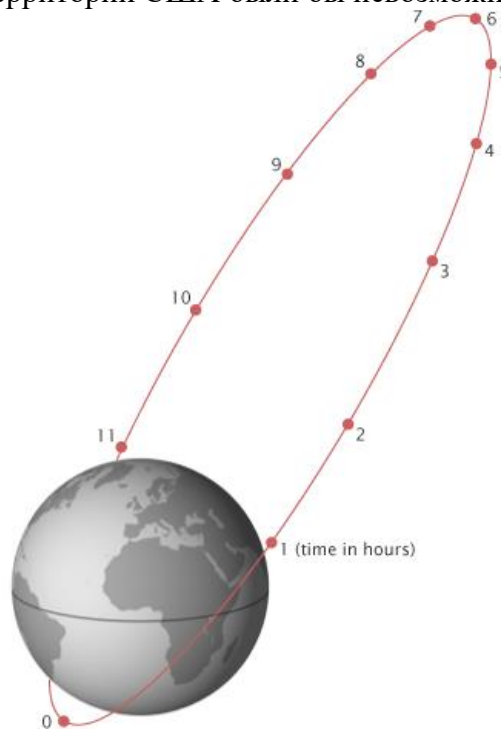
В 70-х годах прошлого века произошла переоценка относительной сложности аналоговых и цифровых технических решений. Пока цифровые системы создавались из одиночных транзисторов или интегральных схем малой степени интеграции, сложность и стоимость этих систем была значительно выше сложности и стоимости аналоговых систем. Поэтому в те времена господствовала уверенность, что аналоговые системы проще и дешевле цифровых, и даже в павильоне "Вычислительная техника" на ВДНХ в 60-х годах было больше аналоговых вычислительных машин, чем цифровых.

Переоценка ценностей произошла, когда средняя степень интеграции элементов систем превысила сотню транзисторов на чип. После этого цифровые системы стали проще и дешевле аналоговых. И разрыв между ними стремительно растёт.

### 1. Поворотный 1973 год

1973 год оказался поворотным в развитии космических технологий связи. В этом году весь мир убедился в достоинствах цифровой космической системы связи "Сургут" [2], обеспечившей надёжную, закрытую связь на трассе Вашингтон - Москва во время визита генерального секретаря ЦК КПСС Л.И. Брежнева в США [3]. Без надёжной закрытой связи выезд первого лица государства за пределы страны был бы невозможен. В конкурсе на её создание приняли участие ведущие предприятия страны в области дальней связи. НИИ микроприборов Минэлектронпрома к огромной досаде профессионалов из Министерства Промышленности средств связи в ожесточённой конкурентной борьбе выиграл конкурс на право создания системы дальней космической связи в обеспечение данного визита.

Только цифровая космическая связь могла отвечать высоким требованиям по скорости передачи закрытой информации и непрерывности работы, при этом не требуя излишне больших финансовых ресурсов для её создания в кратчайшие сроки. Но имевшаяся к тому времени система дальней космической связи "Орбита" [4] через спутники связи "Молния" с вытянутой эллиптической орбитой, Рис. 1, имела настолько громоздкие наземные антенны, что их транспортировка через Атлантический океан и последующий монтаж на территории США были бы невозможны.



**Рис. 1. Вытянутая эллиптическая орбита спутника связи Молния [5], заставляющая постоянно менять направление луча наземной антенны**

Для обеспечения непрерывности связи в системе было задействовано два спутника связи Молния с различными углами наклона орбиты и с чередованием фаз апогея и перигея. Переход от режима работы с одним спутником к работе с другим требовал быстрого изменения направления луча наземной антенны, рис. 2.



Антенна системы Орбита [4] диаметром 12 метров, с механическим приводом, непрерывно отслеживает положение спутника связи Молния при его движении по вытянутой эллиптической орбите [5] в районе апогея, Рис. 1, и быстро переключается на второй спутник при приближении первого к его перигею.

В цифровой системе космической связи Сургут [2] при неподвижном полотне АФАР направление луча на спутник Молния осуществляется изменением фаз несущей, поступающей на все излучающие и приёмные элементы антенны, под управлением вычислителя фаз .

**Рис. 2. Стационарно установленная антенна системы дальней космической связи Орбита [4] с механическим приводом, не предназначенная к перемещению**

К 1973 году удачно сошлись два принципиальных обстоятельства: спутники связи "Молния" имели достаточно низкую частоту ретранслятора в районе 1 ГГц, а Электронная промышленность уже освоила выпуск транзисторов для этого диапазона частот, как мощных - для передатчиков, так и высокочувствительных - для приёмных каскадов. К этому времени НИИ микроприборов уже обладал 10-летним опытом разработки антенных фазированных решёток, предназначавшихся первоначально для радиолокации.

Генеральный директор НИИ микроприборов, герой социалистического труда Гуськов Геннадий Яковлевич [6] принял смелое решение использовать Активные Антенные Фазированные Решётки (АФАР) для обеспечения закрытой цифровой правительственной связи. Напряжённый труд коллектива разработчиков и технологов НИИ МП завершился успешным созданием системы "Сургут", наземные антенны которой были подобны столам для пинг-понга и легко транспортировались. Их установка на крыше отеля в США не вызвала никаких затруднений, но пробудила огромный интерес специалистов США, которые знали о принципе АФАР только из теоретических статей, а здесь впервые увидели это чудо в действии. Так был развеян ещё один миф об отставании СССР от США в сфере радиоэлектроники.

Разработка системы дальней космической связи "Сургут" потребовала разработать и усовершенствовать ряд новейших технологий и устройств для АФАР: технологию гибридных интегральных схем и фазовращателей СВЧ диапазона, микроэлектронные вычислители фаз луча, эффективные излучатели и малошумящие усилители дециметрового диапазона, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, атомные стандарты частоты, фильтры и синтезаторы частот. Были созданы сложные компьютеризированные контрольно-измерительные комплексы.

В НИИ микроприборов с опытным заводом Компонент был организован выпуск серии АФАР для правительственных самолётов, автомобилей и даже для атомного ледокола, осуществившего успешный сеанс связи с Москвой из района Северного полюса. Таким образом утвердился приоритет цифровой космической связи над аналоговой связью, а авторитет НИИ микроприборов существенно возрос [2].



**Рис. 3. Генеральный директор НИИ микроприборов и НПО ЭЛАС, герой социалистического труда Гуськов Геннадий Яковлевич [6]**

## **2. Острота проблемы оперативного космического наблюдения**

В апреле 1973 года для отработки перспективной аппаратуры оперативного космического наблюдения была запущена в космос станция "Алмаз-1" [7], созданная в НПО машиностроения Минобщемаша под руководством генерального конструктора Челомея Владимира Николаевича [8]. Эта станция имела аналоговую телевизионную аппаратуру для считывания информации с проявленной на борту фотоплёнки и для передачи её на Землю по аналоговой радиолинии с полосой частот в 150 МГц при пролёте над наземным пунктом.

На Рис. 5 видны основные подсистемы, предназначенные для обеспечения оперативной передачи специнформации на Землю [9]. Справа внизу расположена быстроповоротная антенна канала передачи информации "Бирюза". Выше неё расположена одна из капсул специнформации, спускаемая на Землю при её полном или частичном заполнении. Справа от центра станции расположен длиннофокусный фотоаппарат "Агат-1", а рядом с ним - фототелевизионная система "Печора".

Сеанс передачи информации мог быть осуществлён далеко не на каждом витке, а только на том витке, который проходил над специально оборудованным наземным пунктом приёма информации. При этом длительность сеанса связи составляла не более нескольких минут. За короткие сеансы связи удавалось передать незначительную долю отснятой за сутки информации, поэтому данная фототелевизионная система не могла обойтись без операторов, а станция не могла работать в автоматическом режиме. Космонавты-операторы фототелевизионной системы должны были проявить плёнку, проанализировать под микроскопом наиболее информативные участки и обеспечить их считывание в телевизионной системе с последующей передачей по аналоговому каналу связи. Передающая антенна совершала быстрый поворот на 180 градусов во время пролёта над наземным пунктом, приёмная антенна которого также совершала

синхронный поворот для отслеживания приближающейся, а затем и удаляющейся станции "Алмаз-1".



Рис. 4. Дважды Герой Социалистического Труда Челомей Владимир Николаевич, генеральный конструктор НПО машиностроения [8]

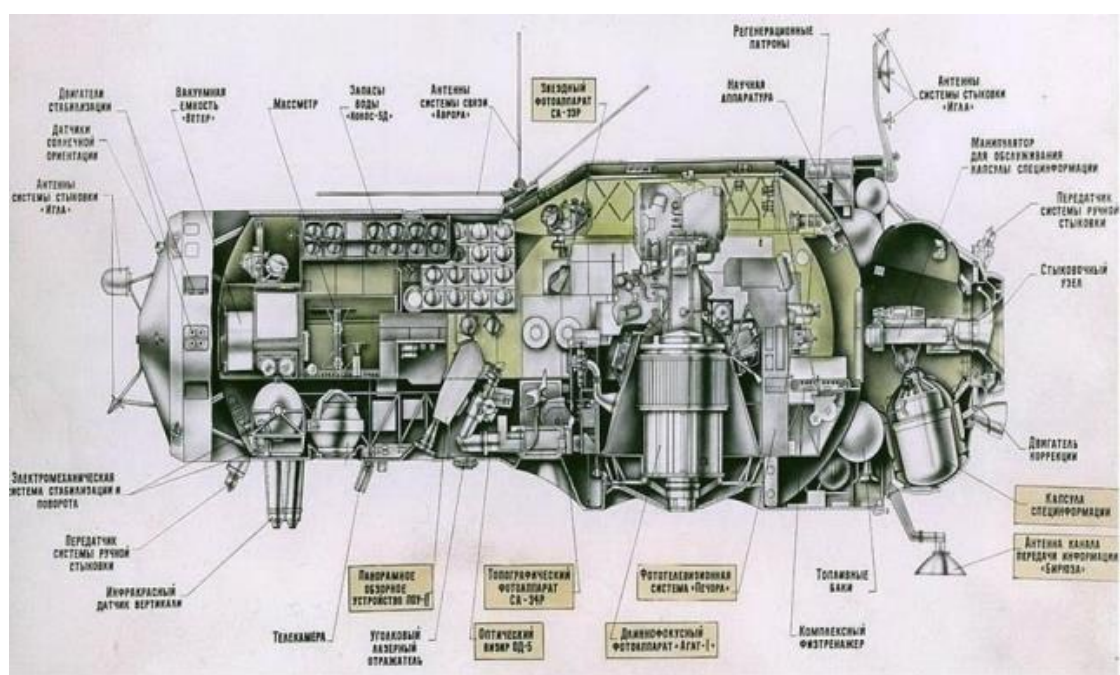


Рис. 5. Станция Алмаз-1 и её фототелевизионная аппаратура [9]

Испытания станции "Алмаз-1" выявили недостатки аналогового способа считывания и передачи информации при пролёте над наземным пунктом, а наличие проявочного аппарата на борту станции портило состав воздуха, которым дышали космонавты. Это обострило проблему поиска альтернативных путей повышения оперативности космического наблюдения.

В октябре 1973 года специалисты НПО машиностроения обратились в НИИ микроприборов за помощью в нахождении более эффективного способа повышения оперативности космического наблюдения. Ознакомление со станцией "Алмаз-1" и её



фототелевизионной аппаратурой, Рис. 5, показало мне, каких огромных усилий требует достижение оперативности космического наблюдения. В процессе обсуждения возможных путей мною была высказана идея заменить фотоплёнку на матрицы приборов с зарядовой связью (ПЗС).

Возникло решение срочно заняться разработкой теоретических основ нового способа космического наблюдения и его экспериментальной отработкой. При рассмотрении проблемы компенсации смаза изображения, вызванного быстрым бегом изображений в фокальной плоскости космического фотоаппарата, выяснилось, что перенос зарядов может быть синхронизирован с бегом изображения, что должно было ликвидировать смаз сигналов изображения. Принцип синхронного накопления энергии движущегося изображения в матрице ПЗС подробно изложен в предыдущей лекции [1]. Позднее стало известно об аналогичной разработке матриц ПЗС в США, получивших название "матрицы с временной задержкой и накоплением" (ВЗН-матрицы) [10]. Наш коллектив получил патент на Фотоприемник движущегося изображения [11].

Чтобы существенно увеличить время, доступное для передачи специнформации на Землю, я предложил использовать спутники-ретрансляторы на геосинхронной орбите вместо передачи информации во время кратковременных пролётов над наземным пунктом. Длина трассы передачи информации при этом возрастала в десятки раз, что требовало особых усилий по обеспечению высокого качества линии связи. Требуемую высокую достоверность передачи информации могла обеспечить только цифровая линия связи. Опыт использования системы дальней космической связи "Сургут" показал, что цифровая аппаратура космической связи НИИ микроприборов уверенно работает при длине трассы до 40 тысяч километров, но при передаче кодированной аудиоинформации. Удастся ли обеспечить передачу кодированной видеоинформации на такие же расстояния с использованием АФАР, было неясно. Поэтому сначала был выбран вариант использования лазерной линии связи, которую ещё предстояло разработать и создать. Затем было принято решение замедлять поток информации в буферном запоминающем устройстве для согласования с линией связи.

### **3. Содружество НИИ микроприборов с ЦСКБ-Прогресс**

НИИ микроприборов вносил существенный вклад в создание и совершенствование электронных устройств космических аппаратов, создаваемых в Куйбышевском филиале НПО Энергия, Центральном Специализированном Конструкторском Бюро (ЦСКБ), с заводом Прогресс [12]. Под руководством Филатова Валерия Николаевича была разработана и внедрена в опытное производство серия бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ) Салют [2], отличающихся повышенной надёжностью благодаря троированию каналов. В этом проявлялись достоинства цифровой техники, обеспечившей мажоритарную оценку и исключение отказов в БЦВМ. В аналоговой технике подобные алгоритмы реализовать нельзя. Особое значение для обеспечения высокого разрешения снимков из Космоса имело включение БЦВМ Салют в контур управления щелевым космическим фотоаппаратом.

К 1973 году в ЦСКБ под руководством Генерального конструктора Козлова Дмитрия Ильича [13] были достигнуты огромные успехи в деле космического фотографирования. Но оставалась нерешённой проблема обеспечения оперативности доставки отснятой на борту космического аппарата специнформации. Специалисты предприятия активно занялись поисками путей повышения оперативности систем космического фотографирования. Были разработаны спускаемые капсулы для доставки на Землю отснятой плёнки, но время от момента съёмки до начала анализа готового фотоснимка всё ещё оставалось высоким. Для поиска капсул после их спуска на землю в НИИ МП была разработана и выпускалась радиостанция Сирена.

Содружество ЦСКБ и НИИ МП способствовало взаимному обогащению знаниями специалистов из далеко отстоящих отраслей науки и промышленности. Совместный поиск решений сложнейших научных и технических проблем прокладывал пути для новых научных исследований и экспериментальных работ.



**Рис. 6. Дважды Герой Социалистического Труда Козлов Дмитрий Ильич, генеральный конструктор ЦСКБ-Прогресс [13]**

Набрав огромный опыт космического фотографирования на базе аппаратов серии Зенит [14], ЦСКБ-Прогресс разработало серию космических аппаратов Янтарь [15], в которых вся конструкция была подчинена обслуживанию космического фотоаппарата.

#### **4. Матрицы ПЗС вместо фотоплёнки**

В начале 1974 года Геннадий Яковлевич Гуськов поручил мне обсудить в ЦСКБ идею замены фотоплёнки на матрицы ПЗС. Идея была встречена Генеральным конструктором ЦСКБ Козловым Дмитрием Ильичом и его специалистами с энтузиазмом, и мы приступили к разработке Технического предложения по созданию системы оперативного космического наблюдения "Сплав" и к экспериментальным работам по подтверждению работоспособности идеи. После получения положительных результатов экспериментальной проверки идеи и одобрения Технического предложения на Совете Главных конструкторов в ЦСКБ началась разработка космического аппарата Янтарь-4КС1, Рис. 7 [16].

Вот что говорит об этом Википедия [16]: "Янтарь-4КС1 (индекс ГУКОС — 11Ф694, код проекта «Терилен») — серия советских спутников видовой разведки, на которых впервые (из советских космических аппаратов) была установлена оптико-электронная цифровая фотокамера, что позволило принимать изображение с космического аппарата (КА) практически сразу после съёмки. До этого снимки на советских спутниках видовой разведки производились на широкоформатную плёнку, которая доставлялась на Землю в спускаемых аппаратах (СА) спустя несколько дней или недель с момента съёмки".



**Рис. 7. КА Янтарь-4К1 разработки ЦСКБ-Прогресс с оптико-электронной цифровой фотокамерой Сплав и системой ретрансляции цифровой информации Сплав-1 разработки НПО ЭЛАС через спутник-ретранслятор "Поток" [17], Рис. 8. (Фото с сайта: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Янтарь-4К1> )**

### **5. Разработка цифровой системы ретрансляции специнформации**

Космический аппарат Янтарь-4К1 не мог выполнять свою миссию без спутника-ретранслятора и без наземного комплекса приёма и обработки специнформации. Я приступил к расчёту энергетических параметров цифровой линии связи и выбрал скорость передачи информации, исходя из реалистических оценок возможных размеров антенн и выделяемой на КА Янтарь-4К1 мощности для питания передатчиков.

Я вылетел в Красноярск, в НПО ПМ, которое сейчас носит название АО «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» имени академика М.Ф. Решетнёва» [18], для выдачи технических требований к спутнику-ретранслятору. Бригада специалистов НПО ПМ, возглавляемая заместителем руководителя НПО ПМ Григорием Маркеловичем Чернявским [19], быстро оценила достоинства АФАР и цифровой связи.

Специалисты НПО ПМ согласились с моим предложением по скорости передачи информации, но при выборе размеров АФАР возникла курьёзная ситуация. Они предложили мне вписать АФАР в габаритный чертёж вагона, объяснив это требованиями железной дороги. Совместными усилиями мы вписали 8-угольную АФАР, Рис. 8, в этот чертёж и приступили к пересчёту энергетики линии. При этом требования к размерам и мощности передающих АФАР не вышли за рамки возможностей КА Янтарь-4К1.

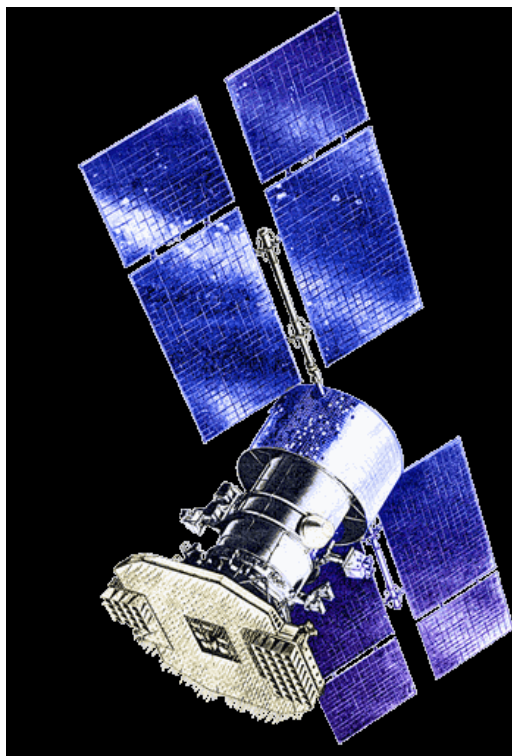
После этого к разработке подключились специалисты НИИ микроприборов по разным направлениям: передающие и приёмные модули АФАР, сверхчувствительные усилители, цифровые вычислители фаз, атомные стандарты частоты, гетеродины, фильтры и синтезаторы частот, бортовые блоки вторичного питания, конструкция аппаратуры и антенн, технология гибридных интегральных схем СВЧ диапазона.

По требованию Заказчика наряду со сверхширокополосной цифровой линией передачи видеoinформации была разработана сравнительно узкополосная обратная цифровая линия для передачи командной информации на спутник-наблюдатель. Это ещё больше повысило оперативность работы системы Сплав, так как ранее команды удавалось передавать только в моменты пролёта КА над пунктом передачи командной



информации, а теперь появилась возможность передачи команд на каждой половине витка, когда обеспечивалась прямая видимость между КА-наблюдателем и спутником-ретранслятором.

Вот что говорит об этом Википедия [17]: "Разработка КА «Поток» проводилась в соответствии с принятым Советом Министров СССР 9-м пятилетним планом на 1971—1975 гг. Этот план предполагал развертывание Глобальной космической командно-ретрансляционной системы (ГККРС) на базе космических СР «Поток» и «Луч». Запуск первого спутника состоялся 18 мая 1982 г. Вслед за ним 28 декабря 1982 г. стартовал первый КА «Янтарь-4КС1». Комплекс, использующий ретрансляторы системы «Сплав», был принят в эксплуатацию 21 января 1986 г."



**Рис. 8. Спутник-ретранслятор «Поток» [17] на геостационарной орбите разработки НПО ПМ с радиоаппаратурой системы Сплав разработки НПО ЭЛАС. (Фото с сайта: Поток (космический аппарат) — Википедия [17]).**

Опыт создания и длительного использования первого спутника-ретранслятора "Поток" для передачи цифровой специнформации и команд в системе космического наблюдения способствовал в дальнейшем созданию Многофункциональной космической системы ретрансляции нового поколения "Луч" [20].

Итак, прошло ровно 9 лет с момента теоретического обоснования и доклада моей идеи Генеральному директору НПО ЭЛАС Гуськову Г.Я. до момента получения первых снимков! За этот период на предприятиях Минэлектронпрома по нашим заданиям был организован выпуск многих новейших микроэлектронных компонентов, а на заводах НПО ЭЛАС были освоены новейшие микроэлектронные технологии.

Успех работы опирался на наш принцип сопряжённой разработки комплектующих и систем [21].

## **6. Сопряжённая разработка новейших элементов и новых систем**

В 70-х годах работы по созданию в Минэлектронпроме СССР элементной базы для создаваемых систем наблюдения Земли из Космоса развернулись в полную силу. Автор был назначен Главным конструктором Минэлектронпрома по спецпрограмме "Сплав", нацеленной на разработку и организацию производства на предприятиях Минэлектронпрома новейших комплектующих изделий для будущих систем космического наблюдения.

С целью сокращения сроков создания перспективных систем цифрового космического наблюдения было принято решение закладывать в них новейшие элементы, ещё находящиеся в стадии разработки, не ожидая их окончательного внедрения в массовое производство.

По мере отработки новых технологий в опытном производстве они передавались на серийные заводы. С ростом масштабов применения цифрового космического наблюдения неизбежно происходило снижение цен на его аппаратно-программное обеспечение.

### **7. Новые технические решения, заложенные в систему Сплав**

В предыдущей лекции [1] подробно рассмотрены основные принципы работы системы Сплав первого поколения:

- Приоритет обеспечения сквозных характеристик системы опико-электронного наблюдения и передачи цифровой информации через спутник-ретранслятор
  - Синхронное накопление энергии движущегося изображения в матрице ПЗС
  - Уменьшение неоднородностей темновых токов и чувствительности элементов ПЗС при синхронном накоплении светового сигнала
  - Отсечение инфракрасной (ИК) составляющей спектра на входе в ПЗС
  - Двухлинейное расположение матриц ПЗС
  - Многозональная компенсация смаза изображения при наклонной съёмке
  - Дифференциальное кодирование выходных сигналов ПЗС
  - Программная фокусировка фотоаппарата
  - Накопление информации в буферном запоминающем устройстве
  - Согласование скорости считывания информации из буферного ЗУ с характеристиками цифровой линии дальней космической связи
  - Приведение двухлинейного расположения специнформации к однолинейному в цифровом процессоре наземного комплекса.

Так рождалась цифровая фотография движущихся изображений [22 - 24].

### **8. Обоснование необходимости существенного сжатия потока видеоданных**

Несжатый цифровой поток  $I$  при постоянной космической скорости  $V_c$  быстро растёт с уменьшением размера проекции пикселя на Землю  $\Delta$  и с ростом ширины полосы захвата  $W$  и числа спектральных диапазонов  $n$  в системе.

$$I = 8 n W V_c / \Delta^2$$

Таблица 1 показывает, что несжатый поток видеоданных превышает возможности цифровых космических линий дальней связи. Это говорит о необходимости существенного сжатия потока данных и целесообразности применения буферных запоминающих устройств для согласования скорости передачи информации с возможностями линии связи.

**Таблица 1. Цифровой поток  $I$  в системе в зависимости от размера проекции пикселя на Землю  $\Delta$ , ширины полосы захвата  $W$ , числа спектральных диапазонов  $n$  и космической скорости  $V_c$ .**

$\Delta$	$W$	$V_c$	$n$	$I$
м	км	км /с		Гбит /с
2	20	8	1	0,32
1	20	8	2	2,56
2	100	8	2	3,2
0,5	10	8	4	10,24

### **9. Перспективные направления развития цифрового космического наблюдения**

- Создание новой элементной базы систем цифрового космического наблюдения:
  - новые фоточувствительные матрицы на различные диапазоны длин волн,
  - более совершенные процессоры видеосигналов,
  - бортовые запоминающие устройства с высоким отношением ёмкость / масса,
- Выход разрешающей способности и спектральных диапазонов наблюдения фоточувствительных матриц за пределы стандартов отрасли;
  - Управление не только скоростью, но и вектором переноса зарядовых пакетов в матрицах;
  - Создание новых систем дальней цифровой космической связи радио- и оптического диапазонов;
  - Развитие интеллектуальных способностей систем цифрового космического наблюдения, как для существенного сжатия потока цифровой информации, так и для выявления особо важных объектов;
  - Замена хранения изображений на фотоматериалах на цифровые хранилища с облегчённым доступом к интересующим фрагментам видеoinформации;
  - Размещение в облаке изображений, полученных из Космоса, с доступом к ним через Интернет;
  - Подготовка специалистов высшей квалификации, способных разрабатывать и создавать всё более сложные систем цифрового космического наблюдения.

### **10. Ключевые направления подготовки кадров для цифрового космического наблюдения**

- Теория и методы эффективного применения космического наблюдения
- Теория и методы создания твердотельных фотоприёмников
- Теория и методы цифровой обработки изображений
- Теория и методы сокращения избыточности цифрового видеопотока
- Теория и методы помехоустойчивого кодирования и криптозащиты
- Теория и практика параллельной обработки изображений
- Теория и практика облачных технологий в космическом наблюдении
- Теория и методы искусственного интеллекта в космическом наблюдении

- Теория и методы распознавания образов и выделения особо важных объектов
- Программно-аппаратное обеспечение систем космического наблюдения.

### **Заключение**

- Цифровое космическое наблюдение обладает огромным потенциалом роста в связи с растущей потребностью в качественных изображениях поверхности Земли и других планет.
  - Точки роста космического наблюдения: повышение разрешения и расширение спектральных диапазонов матриц, совершенствование методов и средств сжатия видеопотока, сетевые и облачные технологии использования изображений, разработка и использование методов искусственного интеллекта.
  - Подготовка специалистов высшей квалификации для цифрового космического наблюдения имеет особую важность и должна опираться на современную материальную базу, такую как компьютеризированные комплексы моделирования и экспериментальной отработки перспективных систем космического наблюдения.
  - Необходимо создание благоприятных условий для реализации высокого кадрового потенциала и богатого опыта создания принципиально новых космических систем и аппаратуры в нашей стране.

### **Литература**

1. Седунов Б.И. Принципы, заложенные в основу первой отечественной цифровой системы дистанционного зондирования Земли из Космоса и цифровых формирователей сигналов изображений для космических телескопов. В сб. Проблемы дистанционного зондирования, распространения и дифракции радиоволн. Конспекты лекций / V Всероссийские Армандовские чтения: молод. школа. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2015. –77 с. [Электронный ресурс]: <http://www.mivlgu.ru/conf/armand2015/lection-2015/pdf/titul.pdf>
2. Космос по-зеленоградски. [Электронный ресурс]: <http://www.zelenograd24.ru/pressroom/economy/detail/30870/?print=Y>
3. Брежнев Леонид Ильич. [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Брежнев,\\_Леонид\\_Ильич](https://ru.wikipedia.org/wiki/Брежнев,_Леонид_Ильич)
4. Орбита (ТВ-сеть). [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Орбита\\_\(ТВ-сеть\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Орбита_(ТВ-сеть))
5. Орбита "Молния". [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Орбита\\_«Молния»](https://ru.wikipedia.org/wiki/Орбита_«Молния»)
6. Герой Социалистического Труда Гуськов Геннадий Яковлевич. Электронный ресурс: [http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero\\_id=16252](http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=16252)
7. Алмаз (космическая программа). Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Алмаз\\_\(космическая\\_программа\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Алмаз_(космическая_программа))
8. Дважды Герой Социалистического Труда Челомей Владимир Николаевич. Электронный ресурс: [http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero\\_id=12733](http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=12733)
9. Рассекречены удивительные тайны «звездных войн» СССР и США. Электронный ресурс: <http://vprk-news.ru/news/36962>
10. Дж. Е. Смит. История изобретения приборов с зарядовой связью // УФН. — 2010. — Т. 180. — С. 1357—1362.
11. Гуськов Г.Я., Седунов Б.И., Петручук И.И., Возьмилов П.Н. Фотоприемник движущегося изображения (Патент SU 587637).
12. РКЦ "Прогресс". Электронный ресурс: <http://www.samspace.ru/>
13. Дважды Герой Социалистического Труда Козлов Дмитрий Ильич. Электронный ресурс: [http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero\\_id=10441](http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=10441)

14. Зенит (космический аппарат). Электронный ресурс: Зенит (космический аппарат) — Википедия
15. Спутники «Янтарь». Электронный ресурс: <http://www.cosmoworld.ru/spacehistory/projects/yantar.html>
16. Янтарь-4КС1М. Электронный ресурс: Янтарь-4КС1М – Википедия
17. Поток (Космический аппарат). Электронный ресурс: Поток (Космический аппарат) – Википедия
18. АО «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» имени академика М.Ф. Решетнёва». Электронный ресурс: <https://www.iss-reshetnev.ru/>
19. Чернявский Григорий Маркелович. Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Чернявский,\\_Григорий\\_Маркелович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Чернявский,_Григорий_Маркелович)
20. Многофункциональная космическая система ретрансляции «Луч». Электронный ресурс: Многофункциональная космическая система ретрансляции «Луч» - Википедия.
21. Г.Я. Гуськов и Б.И. Седунов, Проектирование сложной микроэлектронной аппаратуры. *Электронная промышленность* 1977.
22. История Зеленограда, 1983 год. Электронный ресурс: История Зеленограда. Глава 63. [1983] Ритм города — 83
23. Седунов Б.И. Серия статей о создании в Зеленограде аппаратуры и систем космического назначения. Электронный ресурс: <http://zlngrd.ru/author/394>
24. История цифровой фотографии. Электронный ресурс: История цифровой фотографии - Википедия