

Д.х.н. В.Д. Калугин, д.т.н. Э.Е. Прохач

СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗА ОБЪЕКТАМИ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ В СИСТЕМЕ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ УКРАИНЫ

Проведен глубокий анализ средств и методов аэрокосмического контроля за объектами повышенной опасности. Даны рекомендации по их использованию при построении единой системы Гражданской защиты Украины.

Постановка проблемы. Разрушительные землетрясения, паводки, лесные пожары, аварии на АЭС и другие чрезвычайные ситуации были и остаются неотъемлемыми явлениями в жизни общества и избежать их в ближайшей перспективе не представляется возможным. Они наносят громадный материальный, экологический и социальный ущерб стране, их следствием является разрушение жизненно важных объектов, многочисленные жертвы среди населения. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций – важнейшая задача любого государства, поскольку речь идет о физическом и психологическом благополучии общества, сохранении окружающей среды, здоровье будущих поколений, а, следовательно, о национальной безопасности государства.

В то же время возрастающие масштабы прямого ущерба от катастроф, затрат на их ликвидацию и реабилитацию пострадавшего населения и территорий показывают, что в ближайшей перспективе по ряду показателей экономика страны будет не в состоянии восполнять потери от катастроф. В подобной ситуации переход к устойчивому развитию становится нереальным без резкого повышения уровня и эффективности предупредительных мер, уменьшающих опасность, масштабы и последствия катастроф.

Поскольку многие катастрофы и стихийные бедствия предотвратить нельзя, то борьба за уменьшение ущерба и потерь от них становится важным элементом государственной политики страны, в основу которой должны быть положены всесторонний мониторинг, прогнозирование и своевременное предупреждение людей о грозящем бедствии.

Анализ последних достижений и публикаций. За последние годы в мировой практике накоплен определенный опыт предупредительных, поисково-спасательных и аварийно-восстановительных работ с участием аэрокосмических средств. [1,2] Они применяются для прогнозирования динамики развития чрезвычайных ситуаций, предупреждения и оказания помощи пострадавшему населению, восстановления систем жизнеобеспечения, а также для решения других задач.

[4] Отечественная и зарубежная практика свидетельствует, что применение аэрокосмических средств с их высокой степенью мобильности позволяет спасти 80% человеческих жизней, сохранить имущество, урожай, бюджетные средства. [3,5,6] Вместе с тем, на наш взгляд, высокий потенциал аэрокосмических средств используется не в полном объеме.

Постановка задачи и ее решение. Системы дистанционного контроля делятся на две обширные группы – системы получения спектральных данных и системы, формирующие изображение. Системы получения спектральных данных не формируют изображения, а дают детальную спектральную информацию об объекте. Системы, формирующие изображение, дают информацию о пространственной структуре объекта и некоторую спектральную информацию.

Системы спектральных данных получают информацию путем спектрального сканирования (в отличие от пространственного сканирования в формирующих изображение системах). Системы, формирующие изображение, бывают двух типов: кадровые и сканирующие. В кадровых системах элементы изображения, или пиксели (pixels), получаются одновременно в основной единице изображения – кадре. В сканирующих системах элементы изображения получают последовательно и после получения могут быть переведены в формат кадра. Оба типа таких систем дают спектральную информацию, создавая многоспектральные элементы изображения, состоящие из набора измерений в выбранных диапазонах длин волн спектра.

К числу часто встречающихся особенностей спектральных измерений для задачи исследования природных ресурсов с борта КЛА и вытекающих из них требований к аппаратуре для этих измерений относятся:

- необходимость практически одновременного получения информации о спектре излучения исследуемого объекта в нескольких спектральных диапазонах с высоким спектральным разрешением;
- измерение спектральной интенсивности излучения в средней и длинноволновой частях ИК-области спектра, где абсолютные величины сигналов очень малы;
- жесткие эксплуатационные требования – стабильность и жесткость конструкции, уменьшение габаритов, массы и потребляемой мощности, особенности установки прибора на борту КЛА и др.

Структурная схема типового бортового автоматического спектрорадиометра приведена на рис. 1.

Поток излучения (например, от исследуемой земной или морской подстилающей поверхности) проходит через оптическую систему 1 измерительного канала и поступает на модулятор 4. Поток от опорного излучателя 2 проходит через оптическую систему 3 опорного канала и поступает также на модулятор 4. Выходящий из модулятора 4 промодулированный поток попадает на входную щель моно-

хроматора 5, расположенную в фокальной плоскости оптических систем 1 и 3. Монохроматор разлагает поступающий на него поток в спектр. С помощью программного устройства 8 и привода 9 осуществляется сканирование этого спектра. Проходящее через выходную щель монохроматора излучение попадает на чувствительную площадку приемника излучения 6. Затем электрический сигнал поступает на вход электронного канала 7, где происходит его усиление, предварительная и тематическая обработка.

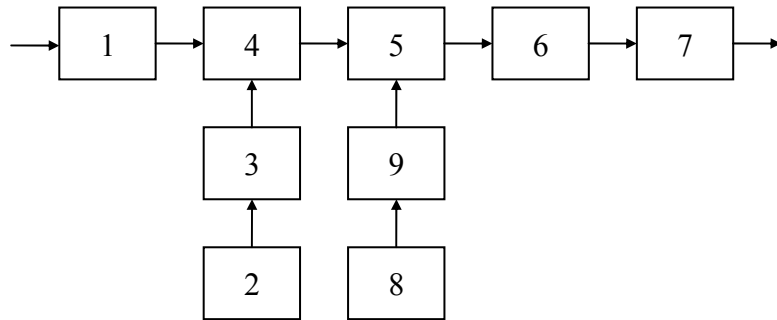


Рис. 1 – Структурная схема бортового автоматического спектро радиометра

В настоящее время разработано большое число бортовых спектральных приборов, в которых разложение в спектр регистрируемого полихроматического потока излучения может осуществляться интерферометром, диспергирующей призмой, дифракционной решеткой или набором переключающихся узкополосных интерференционных фильтров. Рассмотрим их подробнее.

На рис. 2 схематически изображен ход лучей в интерферометре и его диспергирующие элементы. Детектор установлен таким образом, чтобы регистрировать световое поле в точке расщепления пучка, в которой сходятся два отраженных луча. Два луча интерферируют друг с другом, либо усиливаясь, либо ослабляясь в зависимости от длины хода каждого из них по мере прохождения им соответствующего оптического пути. Расщепитель пучка устроен таким образом, что длины оптических путей обоих лучей примерно одинаковы и отличаются только на часть длины волны. Детектор устроен так, что он нацелен только на центральное пятно интерференционного кольца Ньютона.

Прибор не дает изображения в его поле зрения, а просто наблюдает интерференционную картину, возникающую вследствие регистрации приходящего на приемник излучения.

Предположим, что на прибор падает пучок монохроматического света. Так как положение подвижного зеркала меняется, пятно, то яркое, то темное, появляется в точке схождения лучей расщепителя пуч-

ка и, следовательно, наблюдается детектором. Это происходит из-за того, что поочередно на расщепителе пучка возникает то ослабляющаяся, то усиливающаяся интерференция, когда длина пути, связанная с подвижным зеркалом, изменяется относительно длины пути, связанной с фиксированным зеркалом. Если движение подвижного зеркала сделать линейным во времени, то детектор будет экспонировать поочередно темнеющую и светлеющую интерференционную картину, так что электрический сигнал на выходе детектора будет меняться по времени с частотой, зависящей от скорости движения зеркала и длины волны приходящего пучка света. Если будет изменяться длина волны приходящего монохроматического пучка, то будет изменяться и число пересекаемых подвижным зеркалом на данном расстоянии (или за данное время) длин волн; поэтому будет меняться и число изменений интенсивности интерференционной картины для данного механического движения зеркала. Если на прибор падает полихроматический (т.е. состоящий из нескольких световых длин волн) пучок света, то каждая частотная составляющая выходящего из детектора сигнала будет связана с компонентой длины волны приходящего пучка излучения. Таким образом, если выполнить частотный анализ выходного сигнала, то можно восстановить волновую структуру приходящего пучка излучения. При выполнении такого анализа можно использовать численное преобразование Фурье. Кроме того, средняя яркость интерференционной картины прямо пропорциональна интенсивности излучения.

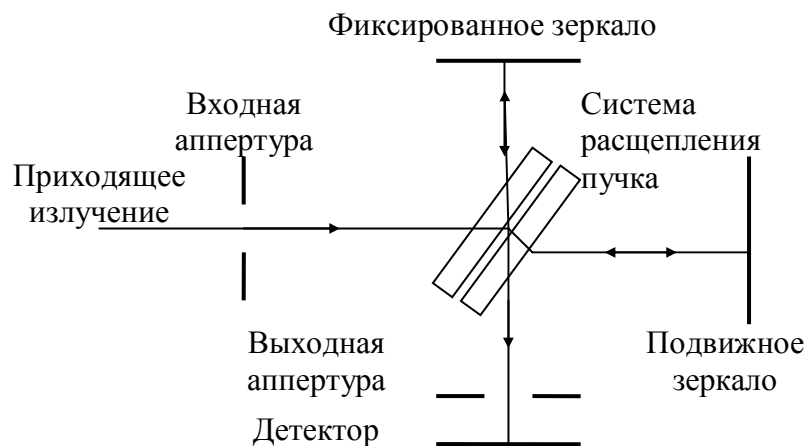


Рис. 2 – Ход лучей в интерферометре

Интерферометры используют в прикладных задачах, требующих измерения спектра с очень высоким разрешением. Интерференционный Фурье-спектрометр является лучшим прибором для получения спектра теплового излучения подстилающей поверхности в широком спектральном диапазоне. При этом обеспечивается погрешность измерения яркости порядка 1% и спектральный предел разре-

шения 0,05...0,01 мкм на длине волны 10 мкм. Однако интерференционный Фурье-спектрометр конструктивно и технологически сложен и требует точной стабилизации температуры основных элементов его конструкции. В качестве примера на рис. 3 приведена принципиальная оптическая схема американского Фурье-спектрометра IRIS.

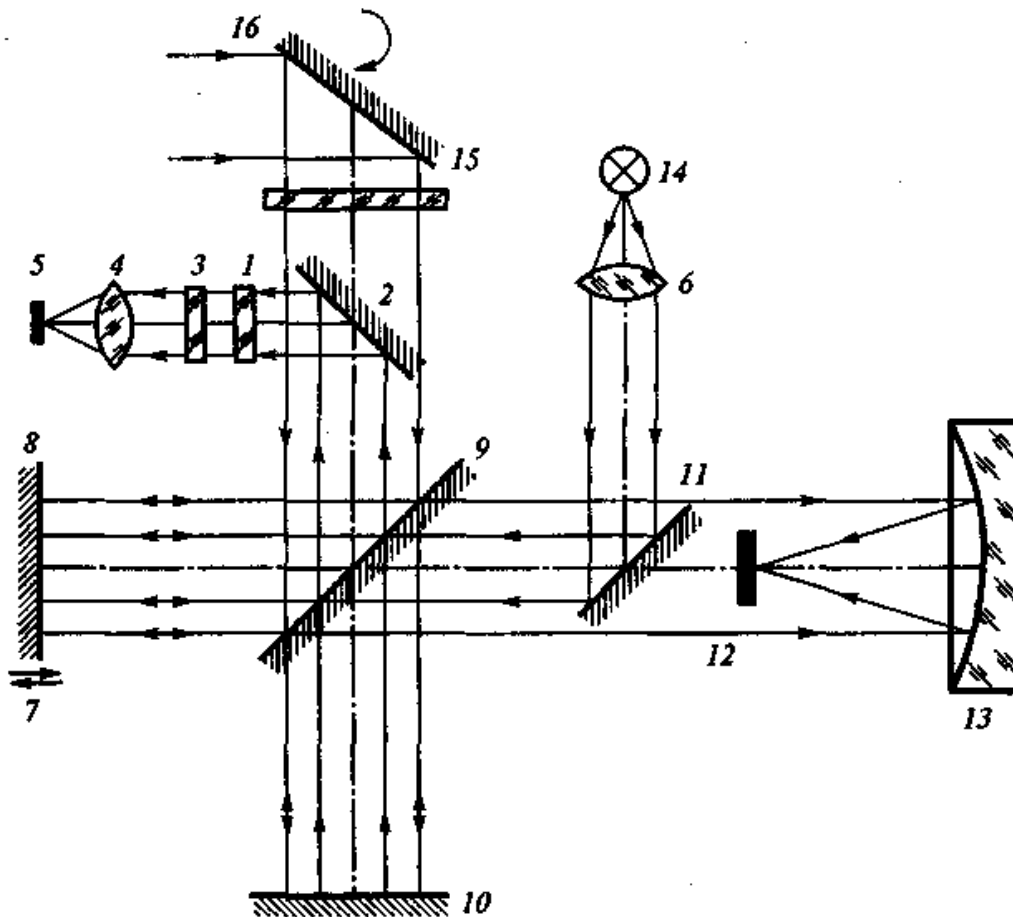


Рис. 3 – Оптическая схема Фурье-спектрометра ERIS

Вход оптической системы образуется входной апертурной диафрагмой 15, перед которой расположено сканирующее зеркало 16. Это плоское зеркало можно направлять на Землю, в космос или на встроенный в прибор излучатель для калибровки прибора в процессе работы.

Входным зрачком оптической системы служит неподвижное зеркало 10 интерферометра Майкельсона. Пучки лучей от объекта, направленные сканирующим зеркалом через апертурную диафрагму 15, разделяются светоделителем 9 на два потока, которые после отражения от зеркал, неподвижного 10 и подвижного 8, фокусируются объективом 13 на приемнике излучения 12.

Угловое поле IRIS равно $8 \times 8^\circ$, поэтому при протяженных объектах излучения объектив радиометра не дал бы выигрыша в освещенности входного зрачка прибора. Отсутствие объектива несколько

ухудшает качество изображения за счет некоторой непараллельности пучков, падающих на светоделитель.

Для облегчения юстировки оптической системы путем визуального наблюдения интерференционных колец в монохроматическом свете и повышения точности стабилизации скорости движения подвижного зеркала 8 (приводимого в движение устройством 7) в приборе IRIS введен референтный канал, который состоит из неоновой лампы 14, конденсора 6, плоского зеркала 11, центральной части светоделителя 9, зеркал интерферометра 8 и 10, зеркала 2, системы фильтров 1 и 3, объектива 4 и приемника излучения 5.

Одним их типов спектральных приборов, наиболее часто используемых в дистанционных исследованиях, являются приборы с дифракционными решетками. На рис. 4 приведена схема прибора с дифракционной решеткой. В приборе обычно применяется отражательная дифракционная решетка. Приходящее излучение попадает на дифракционную решетку и отражается, разделяясь на различные спектральные составляющие. Особенностью прибора с дифракционной решеткой служит то, что в заданном направлении отражаются несколько порядков спектра (к одному и тому же порядку относятся кратные частоты излучения). Поэтому необходимо провести сортировку порядков (т.е. выделение нужных спектральных составляющих), используя срезающие фильтры перед детектором.

Приборы с дифракционной решеткой имеют высокое пространственное разрешение, так как результирующий спектр растягивается на большую площадь. Однако данный прибор требует более аккуратного обращения и с его помощью обычно нельзя провести быстрое спектральное сканирование, поскольку механизм, используемый для крепления дифракционной решетки, массивный и сложный (чтобы обеспечить правильное положение дифракционной решетки в данном диапазоне спектра).

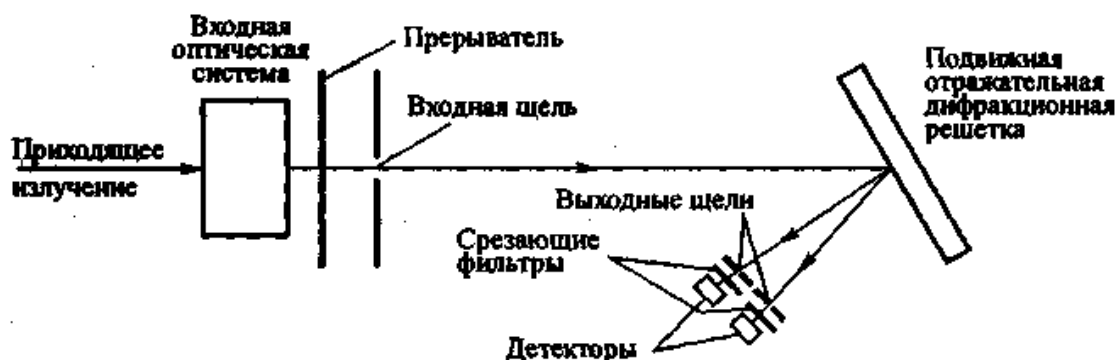


Рис. 4 – Схема прибора с дифракционной решеткой

В этих приборах изображение, вырезаемое щелью, разлагается в спектр. Полученный кадр считывается мозаичным (матричным) приемником. Каждая строка кадра соответствует изображению одной и

той же узкой полосы сканируемой поверхности в определенной области спектра, т.е. число спектральных поддиапазонов равно числу строк фотоматрицы.

Примерами приборов с диспергирующим элементом, в которых сканирование осуществляется путем колебаний дифракционной решетки, являются спектрорадиометр, установленный на борту ИСЗ «Космос-45», и прибор, применявшийся на межпланетной автоматической станции «Викинг», в котором выделение пяти спектральных диапазонов в районе 1,4 мкм осуществлялось 5-элементным фоторезистором с радиационным охлаждением.

Третий тип бортовых спектральных приборов – приборы, в которых в качестве основного диспергирующего элемента применяются призмы. На рис. 5 приведена схема прибора с призмой. Диспергирующая призма дает единственный порядок спектра в данном направлении, и нет необходимости в сортировке порядков (в установке фильтра). Пространственная дисперсия прибора с диспергирующей призмой меньше, чем у прибора с дифракционной решеткой, и поэтому установить детекторы в приборе с диспергирующей призмой технически гораздо сложнее.

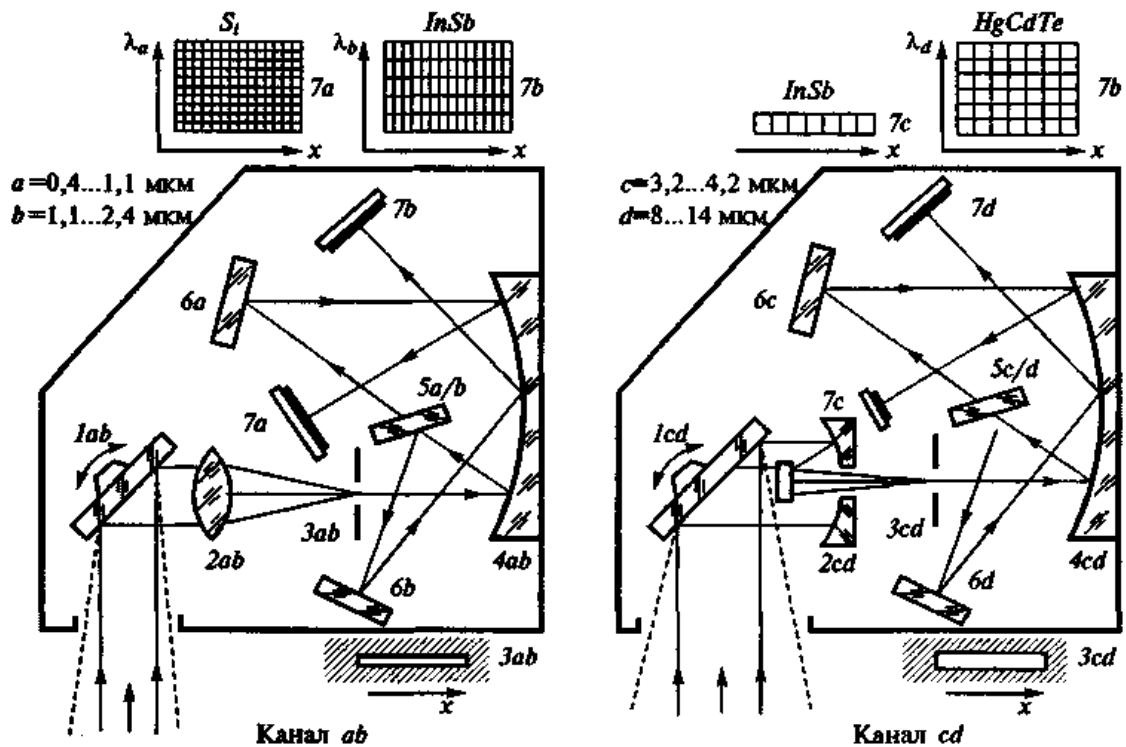


Рис. 5 – Схема прибора с диспергирующей призмой

Прибор с диспергирующей призмой имеет более простую конструкцию и поэтому он способен на более быстрое спектральное сканирование (чем прибор с дифракционной решеткой). Однако спектральный диапазон этого прибора ограничивается материалом, из которого изготовлена призма. Для того чтобы охватить весь оптический

диапазон спектра, для изготовления диспергирующих призм должны использоваться материалы различных типов.

Схема сканирующего спектрорадиометра с диспергирующими призмами показана на рис. 6. В этом спектрорадиометре видимый и ближний ИК-диапазоны разделяются на большое число узких поддиапазонов, а средневолновый ИК-диапазон перекрывается в пределах всего атмосферного окна прозрачности 8...12 мкм или значительной его части. Излучение от исследуемых объектов попадает на сканирующее вращающееся зеркало, направляющее его на зеркало 2 приемного объектива. С помощью зеркал 3 и 4 поток поступает на дихроичный фильтр-светоделитель 5. На призмы 6 и 7 монохроматора направляется видимое и коротковолновое ИК-излучение, которое, будучи разложенным в спектр после объектива 8 и фильтра 9, попадает на охлаждаемый многоэлементный приемник излучения 10. Каждый из элементов приемника чувствителен лишь в узкой спектральной области. Средневолновое ИК-излучение с помощью элемента 11 направляется на охлаждаемый приемник 12, расположенный в сосуде Дьюара.

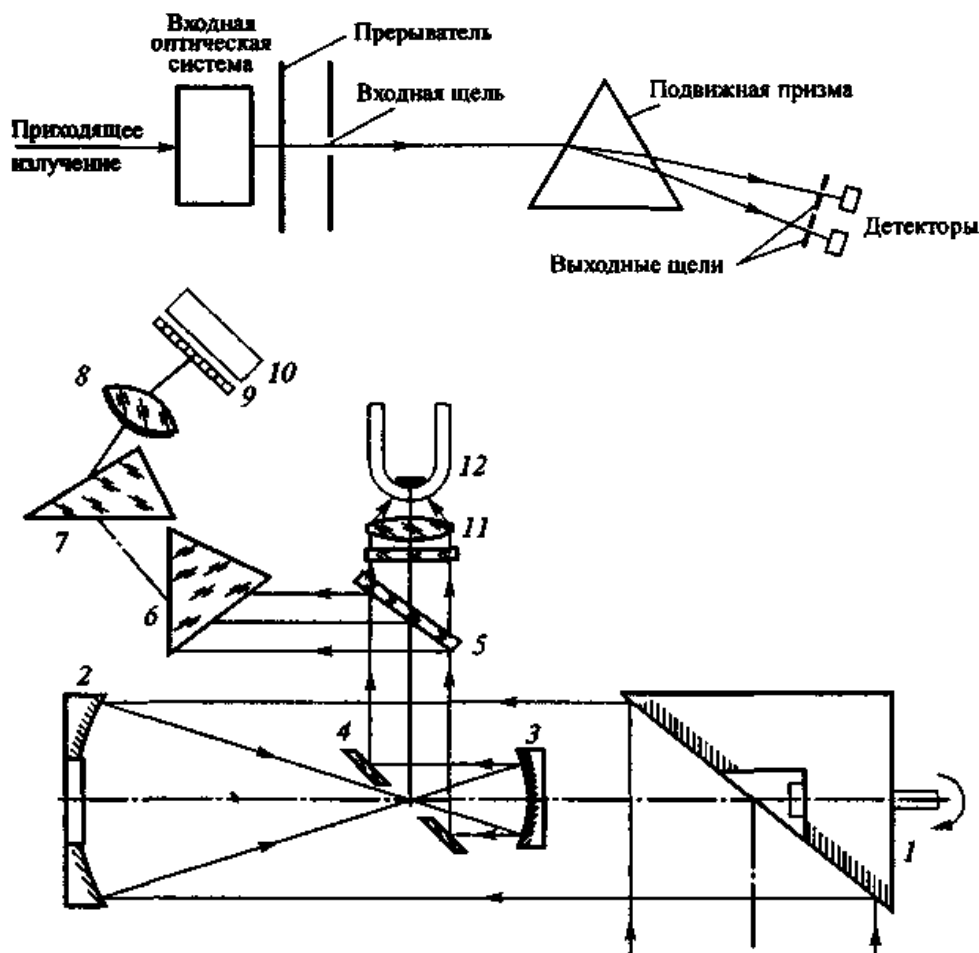


Рис. 6 – Схема сканирующего спектрорадиометра

В приборах с интерференционными диспергирующими элементами используются интерференционные фильтры. Интерференцион-

ный фильтр – это многослойная диэлектрическая структура, через которую проходит излучение. В результате многократных отражений и пропусков возникает явление интерференции. Только одна спектральная полоса, соответствующая определенной длине волны, интерферирует с усилением и поэтому проходит эту многослойную структуру без существенного ослабления. Схематически этот процесс изображен на рис. 7.

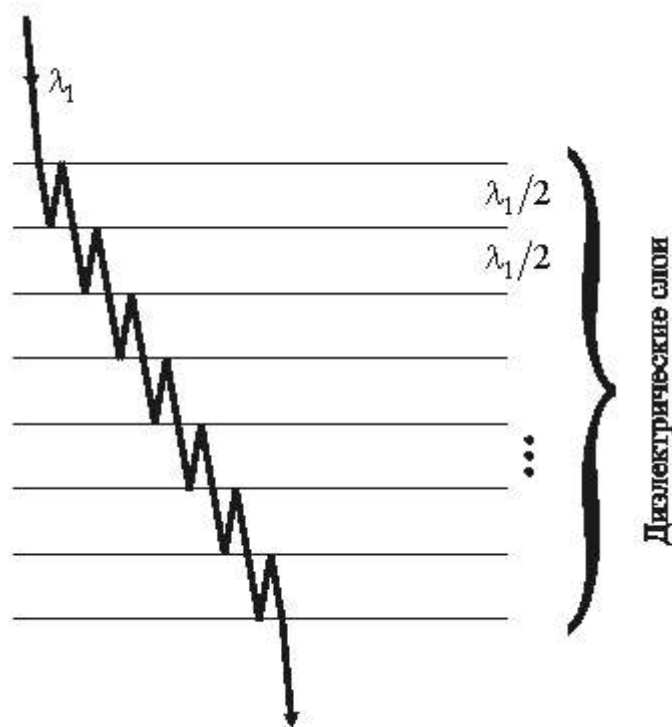


Рис. 7 – Интерференция в многослойном диэлектрическом интерференционном фильтре

Данный метод диспергирования требует такой же сортировки порядков, как и в системах с дифракционной решеткой. Любая длина волны, кратная первичной длине волны, прошедшей через интерференционный фильтр, тоже пройдет через фильтр, так как интерференция с усилением будет также иметь место и для компонент кратных длин волн. Следовательно, необходим фильтр, способный удалять все кратные порядки первичного излучения, падающего на него. Длина волны, способной пройти через интерференционный фильтр, зависит от толщины диэлектрических слоев. Поэтому, чтобы сделать регулируемый диспергирующий элемент, удобно использовать конический интерференционный фильтр, как показано на рис. 8.

Вместо того чтобы применять щели, определяющие кратные длины волн, как показано на рисунке, можно поставить перед входной щелью детектора прибора такой фильтр и изменять его положение от-

носителем щели, чтобы выделить из проходящего потока излучения спектральную компоненту.

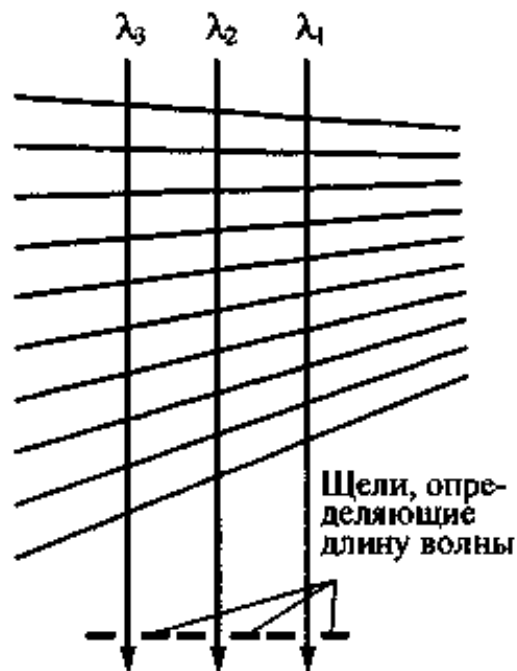


Рис. 8 – Конический интерференционный фильтр

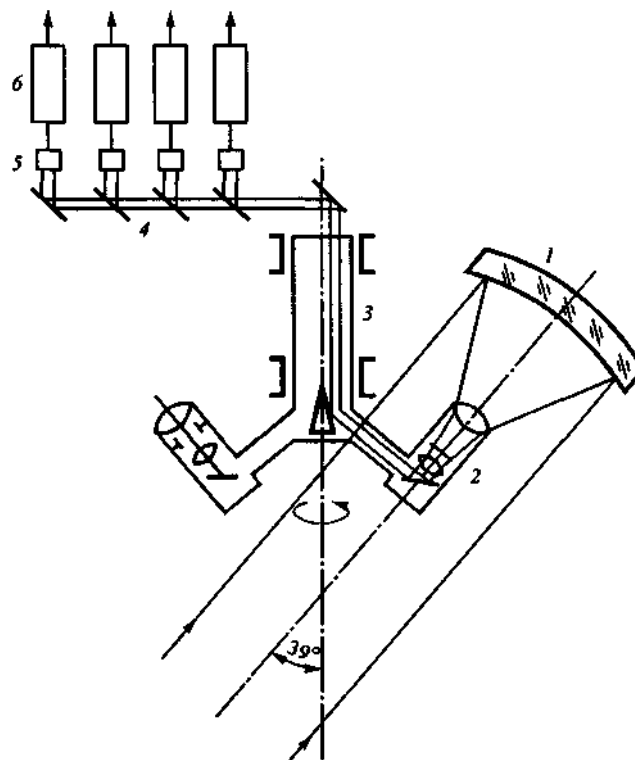


Рис. 9 – Структурная схема МСУ-СК

На рис. 9 представлена упрощенная функциональная структурная схема прибора МСУ-СК (многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения с конической разверткой), в котором в каче-

стве диспергирующих элементов используются интерференционные фильтры. МСУ-СК является оптико-механическим сканером среднего разрешения с конической разверткой. Излучение от подстилающей поверхности под углом 39° к вертикали собирается сферическим зеркалом 1 и направляется в одну из четырех оптических ветвей 2. В оптической ветви поток излучения с помощью ряда оптических узлов фокусируется, затем из него выделяется поток, соответствующий одному телевизионному элементу, и направляется к оси вращения сканирующего устройства, преломляется и далее расщепляется в спектроделительной системе 4. Фотоприемник 5 преобразует поток излучения в видеосигнал, который после формирования в усилителях 6 поступает на выход прибора. МСУ-СК входит в состав бортовой аппаратуры космического аппарата «Ресурс-01».

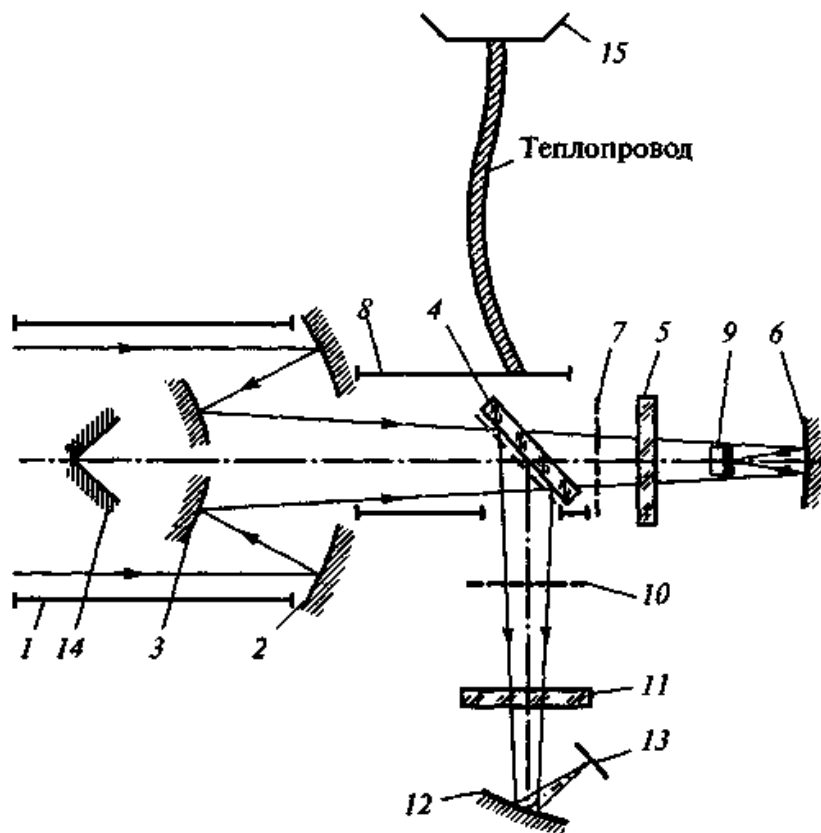


Рис. 10 – Оптическая схема спектро радиометра IRS

Приборы МСУ-Э (многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения), МСУ-С (многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения), МСУ-М (многоканальное сканирующее устройство малого разрешения) используют в качестве монохроматора с непрерывным сканированием по спектру в двух спектральных диапазонах объектив по схеме Кассегрена. Он защищен внешней блендой 7, имеет два эллиптических зеркала 2, 3 и формирует поток излучения, попадающий (внутри бленды 8) на светоделитель 4, разделяющий поток на два канала. Длинноволновой канал (3,6... 14 мкм)

состоит из камертонного вибромодулятора 7, интерференционного клиновидного фильтра 5, эллиптического конденсора 6 и приемника излучения 9 (GeHg), охлаждаемого до температуры 22 К. Коротковолновый канал (1,9...6,0 мкм) имеет камертонный модулятор 10, фильтр 11, конденсор 12 и приемник излучения 13 (PbSe), работающий при температуре 175 К за счет радиационного охлаждения. Конический зеркальный отражатель 14 предназначен для уменьшения фона, создаваемого деталями прибора. Охлаждение терморегулирующей поверхностью 75, выставленной в открытый космос и экранированной от корпуса КЛА, до температуры 238 К и стабилизация температуры внутренней бленды и модулятора длинноволнового канала на уровне 175 К обеспечивает снижение уровня внутренних помех и повышение чувствительности прибора. Применение в этом приборе фильтрового монохроматора возможно из-за не слишком широкого спектрального диапазона длинноволнового канала по сравнению, например, с диапазоном (7... 36 мкм) спектро радиометра «Космос-45».

В табл. 1 приведена краткая характеристика приборов с различными диспергирующими элементами.

Таблица 1 – Краткая характеристика приборов с различными диспергирующими элементами

| Тип прибора | Диспергирующий элемент | Скорость спектрального сканирования | Спектральное разрешение | Механическая прочность | Чувствительность | Особенности |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|--|
| Прибор с интерферометром | Структура пластины интерферометра | Средняя | Очень высокое | Очень хрупкая | Средняя | Необходимо преобразование Фурье |
| Прибор с диспергирующей призмой | Призма, изготовленная из пропускающего материала | Высокая | Среднее | Средняя | Средняя | Неудобство: много диспергирующих элементов |
| Прибор с дифракционной решеткой | Отражательная или пропускающая дифракционная решетка | Низкая | Высокое | Хрупкая | Высокая | Необходима сортировка порядков |
| Прибор с интерференционным фильтром | Изменяющаяся интерференция | Высокая | Низкое | Прочная | Высокая | То же |

Примером систем дистанционного контроля, формирующих изображение, являются тепловизионные системы. Тепловизионные системы предназначены для создания видимого аналога теплового изображения. В них происходит преобразование оптического изобра-

жения, полученного в ИК-области спектра, в адекватное изображение в видимой области.

Отметим особенности тепловых изображений, т.е. изображений, полученных в ИК-области спектра. Распределение контрастов в тепловом изображении (в ИК-области спектра) может существенно отличаться от соответствующего распределения в видимом изображении. Если в видимой области спектра распределение контрастов обусловлено различиями в отражательной способности природных образований, то в ИК-области это распределение обусловлено также (или главным образом) различиями в их излучательной способности. Поэтому тепловое изображение не имеет теней. Поскольку в тепловом изображении фиксируется различие в излучательных способностях, то возможно обнаружение объектов, имеющих одинаковую температуру, но различные коэффициенты излучения.

Принципиальная схема ИК-радиометра приведена на рис. 11. В состав радиометра входят следующие основные элементы:

- приемник излучения (ПИ);
- эталонный источник излучения (абсолютно черное тело (АЧТ));
- модулятор, осуществляющий (с помощью двигателя) попеременное облучение чувствительной площадки приемника внешним или эталонным источниками;
- электронная схема, преобразующая и усиливающая электрический сигнал с выхода приемника;
- измерительное устройство.

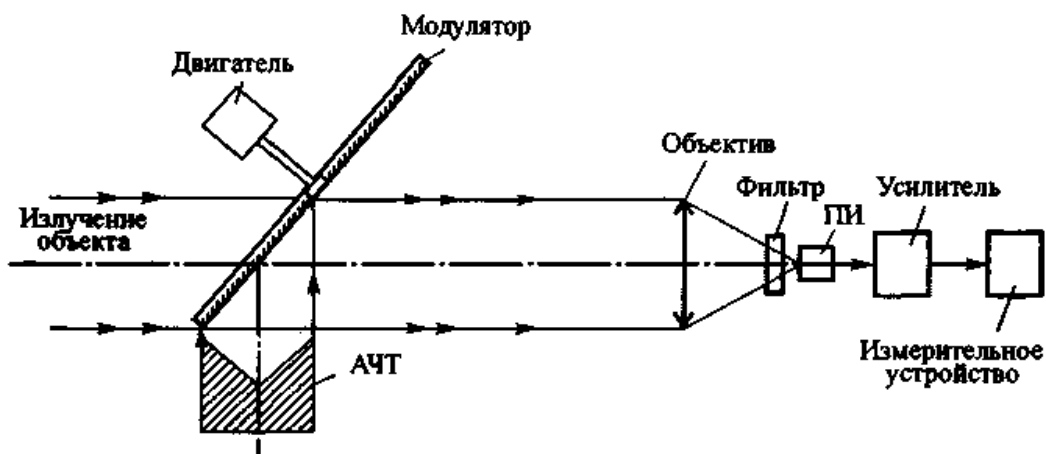


Рис. 11 – Принципиальная схема ИК-радиометра

Различают тепловизионные системы без сканирования, системы с фотоэлектронным сканированием и системы с оптико-механическим сканированием. Современные тепловизионные системы с оптико-механическим сканированием имеют частоту сканирования, соизмеримую с частотой сканирования в телевизионных системах.

Функциональная схема тепловизионной системы с оптико-механическим сканированием представлена на рис. 12.

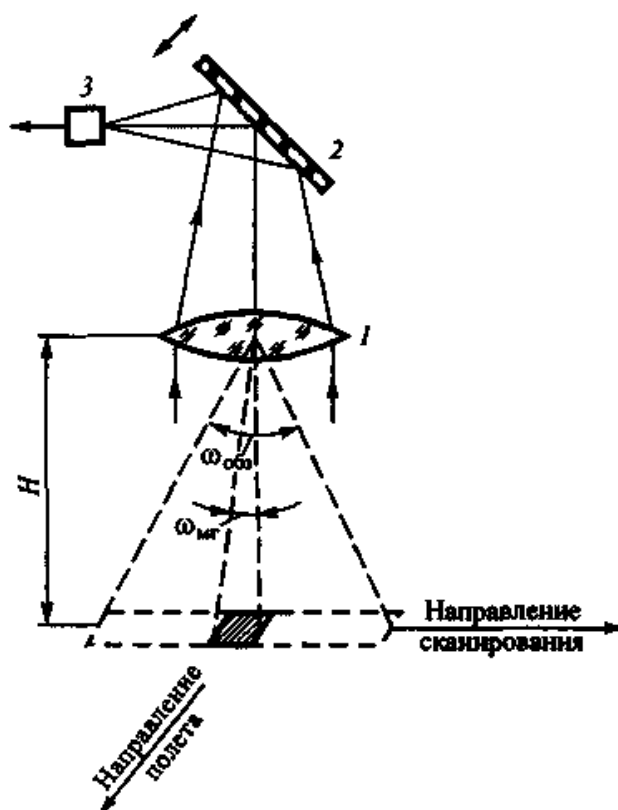


Рис. 12 – Функциональная схема тепловизионной системы: 1 – оптическая система; 2 – сканирующая система; 3 – приемник излучения; 4 – предусилитель; 5 – устройство для обработки и формирования сигналов; 6 – система охлаждения приемника излучения; 7 – устройство синхронизации

Из тепловизионных систем наиболее известны пятиканальный радиометр AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), устанавливаемый на американских метеорологических спутниках «NOAA»; датчик ATSR (Along Track Scanning Radiometer) спутников «ERS», а также многоканальный сканер с конической разверткой MSU-СК, используемый на спутниках «Ресурс» и «Океан-0».

В тепловизионных системах для исследования природных ресурсов с одноэлементным сканированием наиболее часто применяется построчнопрямолинейная траектория сканирования, причем для развертки вдоль траектории полета (по кадру) используется собственное движение ЛА, а развертка в перпендикулярном направлении (по строке) осуществляется с помощью оптико-механических дефлекторов. Такие системы по принципу построения аналогичны однострочным телевизионным системам. В схеме тепловизионной системы с одноэлементным сканированием в качестве дефлектора использовано плоское качающееся зеркало, расположенное в сходящемся пучке лучей за приемником излучений. Примером такой тепловизионной сис-

темы является радиометр AVHRR, в котором используется линейное сканирование (рис. 13).

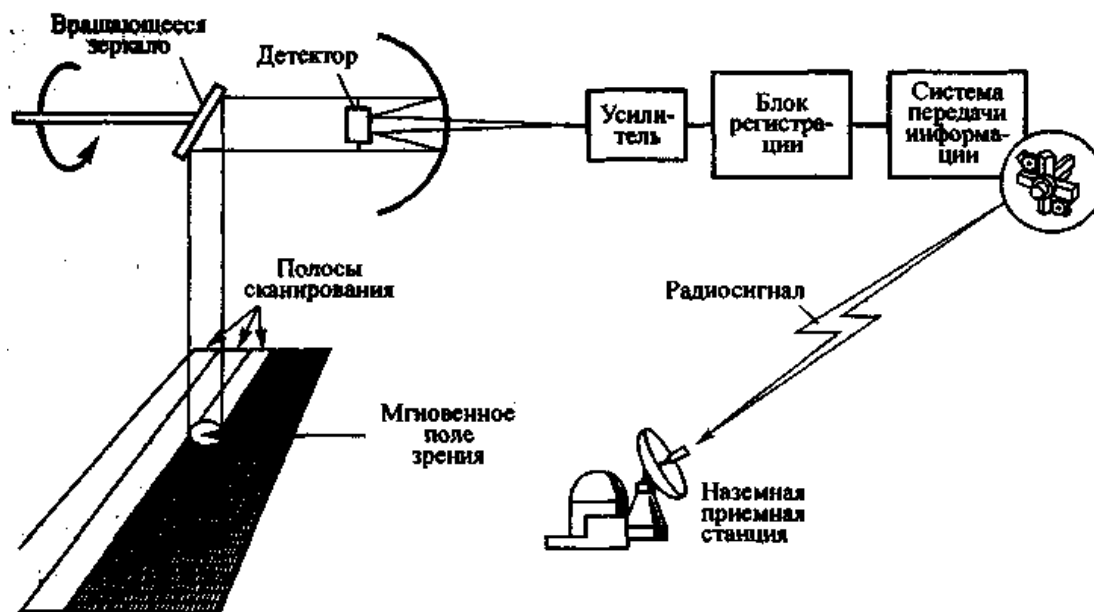


Рис. 13 – Сканирующий ИК-радиометр AVHRR с линейной механической разверткой

Приведем основные технические характеристики датчика ATSR, который имеет наилучшие метрологические характеристики из всех упомянутых ИК-радиометров. Датчик ATSR состоит из двух приборов: ИК-радиометра (Infra-Red Radiometer – IRR) и микроволнового радиометра (Microwave Sounder – MWR).

Радиометр IRR разработан и создан консорциумом из нескольких лабораторий: Резерфордской лабораторией прикладной физики, Оксфордским университетом, Метеорологической службой Великобритании, CSIRO из Австралии. Главной целью создания IRR является прецизионное измерение глобальной температуры морской поверхности. Абсолютная точность измерения температуры составляет 0,5 К при усреднении по пространству в 50x50 км и при условии, что хотя бы 20% наблюдаемой территории свободны от облаков. Для свободных от облачности участков относительная точность составляет 0,1 К при элементе разрешения 1x1 км.

Для достижения таких показателей IRR был сконструирован как радиометр получения изображений с четырьмя параллельными спектральными каналами, имеющими длины волн 1,6; 3,7; 10,8 и 12 мкм, формируемыми отдельными лучами и многослойными интерференционными фильтрами.

Мгновенное поле зрения прибора при обзоре в надир имеет размеры 1x1 км и формируется как изображение на детекторах после параболического зеркала. Для уменьшения собственных шумов детекто-

ры, размещенные в фокальной плоскости, охлаждены до 80 К охладителем Стирлинга.

Область одновременного обзора перемещается по поверхности Земли через поворот плоскости зеркала таким образом, что это дает два направления обзора: надирное с углом падения 0° и переднее с углом падения 55° . Такой угол выбран не случайно, поскольку при нем расстояние визирования в надир и вперед по полету отличается ровно в два раза.

Сканирующее зеркало отклоняется на максимальный угол $23,45^\circ$ от вертикали. Номинальная ширина полосы обзора составляет 500 км, при этом передний и надирный сканы разнесены на 900 км вдоль трассы. Подобная геометрия обеспечивает просмотр одного и того же элемента на подстилающей поверхности под двумя различными углами, что позволяет одновременно использовать и многоканальную, и многоугловую методики восстановления температуры поверхности моря. Период сканирования составляет 150 мс, а каждый скан состоит из 2000 пикселей. Для калибровки каналов в течение каждого периода сканирования в IRR формируются сигналы, соответствующие температурам двух бортовых черных тел (одного холодного и одного горячего). После сжатия данных на борту пакет из 960 пикселей передается на Землю вместе со служебными данными.

В радиометре только 3 канала из 4-х могут работать одновременно (каналы 12 мкм и 10,8 мкм работают постоянно). Переключение между каналами 1,6 мкм и 3,7 мкм происходит автоматически по уровню отраженного ИК-излучения.

Основной задачей микроволнового датчика MWR является измерение влагосодержания в атмосфере (как испарений, так и в жидком виде) для использования в расчетах наиболее неизученной части задержки сигналов спутникового альтиметра. MWR имеет два канала, работающих на частотах 23,8 и 36,5 ГГц, каждый с шириной полосы 400 МГц.

В ИК-радиометре датчика ATSR-2, установленного на борту спутника ERS-2, дополнительно добавлены 3 канала видимого диапазона с длинами волн 0,555; 0,669 и 0,865 мкм. Эти каналы калибруются с использованием новой системы по рассеянному солнечному свету один раз за виток. Точность радиометрической калибровки видимых каналов составляет 2% и отношение сигнал – шум равно 20 для 20% альбедо.

Выводы: на основе анализа характеристик чрезвычайных ситуаций рассмотрены задачи и возможности по применению средств аэрокосмического мониторинга опасных факторов в сочетании со средствами наземного базирования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Агарков В.Ф., Бирюков А.С., Григорян О.Р. и др. Возможности малых ИСЗ для решения некоторых экологических задач // Космос и экология: концепции и технические решения: Материалы науч.-техн. семинара, Туапсе. – 1990. – С. 8 – 11.

2 Аксенов В.В., Волков А.М., Хапин Ю.Б. и др. Обеспечение дистанционных исследований Земли радиометрическими вредствами СВЧ-диапазона в 1990 – 2000 г.г. // Тр. НПО „Планета”. – 1992. – Вып. 41. – С. 24 – 34.

3 Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем – М.: Наука, 1984. – 320 с.

4 Волков А.М., Пахомов Л.А., Пичугин А.П., Фейгин В.М., Хапин Ю.Б. Космическая экология: проблемы создания оперативных космических систем дистанционного зондирования Земли из космоса. Часть 1. Космические средства гидрометеорологического назначения // Инженерная экология. – 1996. – № 6. – С. 100 – 121.

5 Григорьев Ал.А., Кондратьев К.Я. Спутниковый мониторинг природных и антропогенных катастроф // Исследование Земли из космоса. – 1996. – № 3. – С. 68 – 78.

6 Исаев А.С., Сухих В.И., Калашников Е.Н. и др. Аэрокосмических мониторинг лесов – М.: Наука, 1991. – 239 с.

