

УДК 551.501.81

Комплекс радиофизической аппаратуры ИСЗ «Січ-1»

В. И. Драновский², В. В. Дюняшев³, А. П. Евдокимов¹, В. Б. Ефимов⁴,
В. В. Иголкин⁴, А. И. Калмыков, В. А. Комяк¹, В. В. Крыжановский¹,
А. С. Курекин⁴, В. Ю. Левантовский⁴, А. С. Левда⁴, В. В. Рыбин³,
Ю. Д. Салтыков², А. Б. Фетисов⁴, В. Н. Цымбал⁴, С. А. Шило¹, С. Е. Яцевич¹

¹Институт радиофизики і електроніки НАН України, Харків

²ДКБ «Південне», Дніпропетровськ

³Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань, Харків

⁴Центр радіофізичного зондування Землі НАН України і НКА України, Харків

Надійшла до редакції 11.03.98

На основі аналізу переваг комплексного використання інформації активних та пасивних радіолокаційних засобів обґрунтовуються параметри і склад радіофізичної апаратури дистанційного зондування системи Земля—атмосфера космічного базування, приводяться приклади спостережень природного середовища, аналіз отриманих результатів.

Успешное решение океанографических задач с помощью комплексов дистанционного зондирования во многом определяется оптимальным выбором параметров приборов, составляющих комплекс. Перспективным представляется совместное использование таких датчиков, в основе которых лежат различные физические процессы (например, активных и пассивных радиолокационных средств) [1]. К числу основных параметров, требующих оптимизации, можно отнести пространственное разрешение, чувствительность, длину волны и поляризацию излучения, углы визирования и т. д.

В работе приведено обоснование выбора параметров комплекса радиофизической аппаратуры океанографических ИСЗ типа «Січ-1» и его описание. Комплекс состоит из радиолокатора бокового обзора (РБО) и сканирующего радиометра (СКРМ) и предназначен для исследования морской поверхности и ледяных покровов.

При зондировании океана большую ценность представляет получение оперативных данных о поле скоростей приводного ветра. В работе [10] показано, что РБО эта задача оптимально решается в диапазоне длин волн $\lambda = 3\div 5$ см при вертикальной поляризации излучения. На рис. 1 представлена зависимость средней информативности радиолокационных сигналов от рабочей длины волны при различении участков волнения, соответствующих разным скоростям ветра, а также обнаружении неоднородностей.

Чувствительность радиометрического датчика к ветровым процессам определяется в первую очередь излучением пенистых образований. Область слабой чувствительности к вариациям скорости ветра соответствует отсутствию пены и лежит в диапазоне 0—6 м/с. Максимум чувствительности в диапазоне скоростей ветра 7—20 м/с приходится на $\lambda = 0.8$ см при горизонтальной поляризации излучения [13],

© В. И. ДРАНОВСКИЙ, В. В. ДЮНЯШЕВ, А. П. ЕВДОКИМОВ,
В. Б. ЕФИМОВ, В. В. ИГОЛКИН, А. И. КАЛМЫКОВ, В. А. КОМЯК,
В. В. КРЫЖАНОВСКИЙ, А. С. КУРЕКИН, В. Ю. ЛЕВАНТОВСКИЙ,
А. С. ЛЕВДА, В. В. РЫБИН, Ю. Д. САЛТЫКОВ, А. Б. ФЕТИСОВ,
В. Н. ЦЫМБАЛ, С. А. ШИЛО, С. Е. ЯЦЕВИЧ, 1998

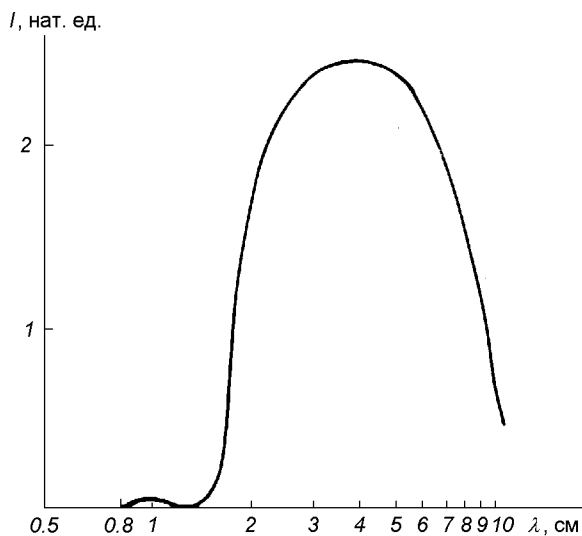


Рис. 1. Частотная зависимость информативности РЛС БО при определении состояния поверхности океана

что определяется спектральным максимумом зависимости

$$B_w(\lambda) \propto [e_n(\lambda) - e_v(\lambda)],$$

где e_n , e_v — коэффициенты излучения пены и воды соответственно [7]. При этом минимальна ошибка, обусловленная вариациями физической температуры воды и ее солёности [15]. Зависимость $B_w(\lambda)$ представлена на рис. 2 сплошной линией.

Выбором этих длин волн для РБО и СКРМ обеспечивается максимальная их чувствительность к вариациям скорости ветра (при малых его скоростях — для РБО, при больших — СКРМ).

Основной задачей зондирования ледяных покровов является определение их толщины. Анализ экспериментальных данных [23] показывает, что максимальные радиолокационные контрасты между различными возрастными градациями льда соответствуют $\lambda \approx 3$ см и составляют величину более 10 дБ, в то время как для дециметрового диапазона контрасты практически отсутствуют (рис. 3). Также отмечается отсутствие зависимости уровня отраженного сигнала от поляризации излучения.

Максимальные радиотепловые контрасты между молодыми и многолетними льдами наблюдаются в мм-диапазоне радиоволн и увеличиваются с уменьшением длины волны. Однако в коротковолновой части мм-диапазона практически отсутствуют контрасты между многолетним льдом и водой, причем в зависимости от характеристик снежного по-

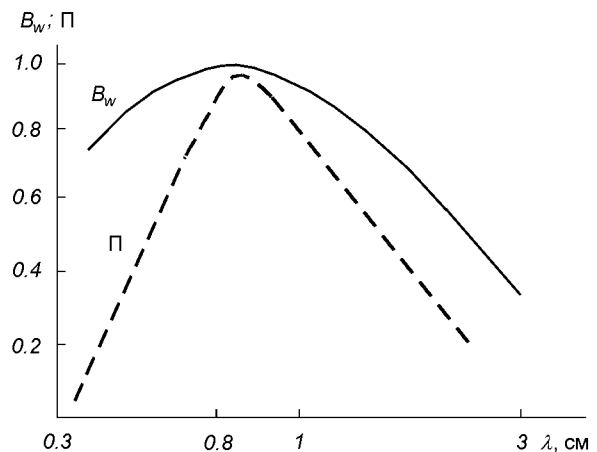


Рис. 2. Спектральная зависимость чувствительности радиометра к скорости приводного ветра и возрасту ледяного покрова

крова на льду эти контрасты могут становиться даже отрицательными [16]. При анализе информативности выбирался критерий вида

$$П = K_{сл-в} \cdot K_{мл-в} \cdot K_{сл-мл},$$

где K — контрасты радиоярких температур между старым льдом и водой, молодым льдом и водой и между однолетними и многолетними льдами соответственно. Зависимость $П$ от длины волны показана на рис. 2 пунктирной линией. Очевидно, что и для ледовых задач максимум спектральной чувствительности радиометрического датчика приходится на $\lambda \approx 0.8$ см. При этом обнаружение границы вода—лед следует производить на горизонтальной поляризации излучения. Для синхронного зондирования поверхности комплексом радиофизической аппаратуры оптимальными являются углы наблюдения 20° — 60° от надира. В этом диапазоне углов обеспечивается максимальная чувствительность РБО к неоднородностям волнения и минимальное влияние изменения шероховатости поверхности моря на ее радиояркую температуру, что уменьшает ошибки определения скорости приводного ветра на основе данных СКРМ, при определении скорости ветра по степени покрытия поверхности пеной.

Результаты проведенного анализа послужили основой для выбора основных параметров комплекса радиофизической аппаратуры, включающего РБО и СКРМ, установленного на борту ИСЗ «Січ-1».

На основе выработанных рекомендаций в ИРЭ НАН Украины были разработаны эксперименталь-

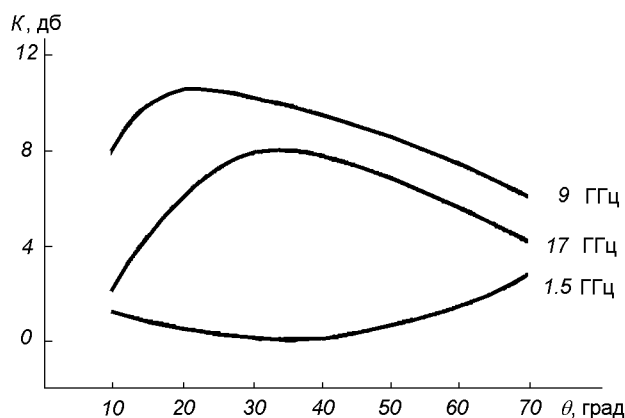


Рис. 3. Зависимость радиолокационных контрастов многолетней—однолетней льды от угла наблюдения и длины волны

ные образцы комплексов радиофизической аппаратуры, реализующей предложенный способ зондирования [1], и в экспериментах с ИСЗ проведены испытания разработанного метода и аппаратуры [21]. Океанографический ИСЗ «Січ-1» оснащен системой метеорологического зондирования [2], изготовленной в АО НИИРИ (г. Харьков). Она включает в себя комплекс радиофизической аппаратуры [21, 22], состоящий из радиолокатора бокового обзора (РЛС БО), аналогового установленному на борту ИСЗ «Космос-1500» [9, 11, 12], сканирующего радиометра миллиметрового диапазона (РМ-08) [5, 8] и блока обработки сигналов (БОС), созданного на основе алгоритма [20]. Кроме того, в состав системы входит также радиотелевизионный комплекс (РТВК) [18], состоящий из четырехканального оптикомеханического сканирующего устройства малого разрешения (МСУ-М) [17], хронизатора, запоминающего устройства, радиолиний метрового и дециметрового диапазонов. Блок-схема системы приведена на рис. 4.

Для обеспечения высокой оперативности доставки информации непосредственно потребителям, на борту ИСЗ организована ее обработка в реальном времени, а для передачи используются стандартные линии РТВК, которые широко применяются для трансляции оптической информации спутников серии «Метеор». Это позволило обеспечить доступ потребителей, традиционно использующих космические оптические изображения, к радиофизическим данным через разветвленную сеть автономных приемных пунктов.

Представление радиофизической информации в виде радиолокационного и радиотеплового изобра-

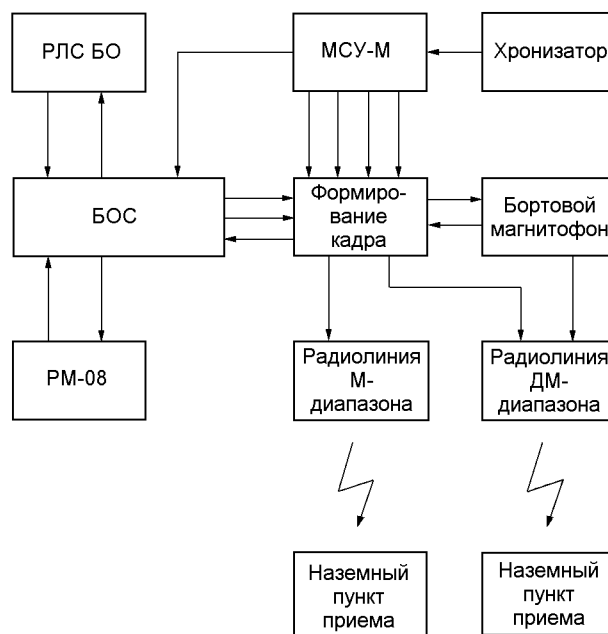


Рис. 4. Блок-схема системы метеорологического зондирования ИСЗ «Січ-1»

жений подстилающей поверхности строчнокладовой структуры аналогично оптическим изображениям, полученным МСУ-М. Формирование этих трех изображений на одном бланке [2] (рис. 5) существенно облегчило потребителю работу с радиофизической информацией за счет опыта дешифрирования оптических изображений. Оснащение системы РФА бортовым запоминающим устройством позволило обеспечить получение и сброс информации над любым районом земного шара.

Рассмотрим более подробно схему построения комплекса радиофизической аппаратуры. Следует отметить, что для решения большинства океанографических задач требуемое пространственное разрешение составляет 1 км, что для бортовой РЛС БО 3-см диапазона реализуемо при ширине диаграммы направленности антенны $\approx 0.2^\circ$ (линейный размер антенны ≈ 11 м). Раскрываемая волноводно-щелевая антенна длиной 11 м [19] подключается к РЛС БО через антенный коммутатор, обеспечивающий развязку между передатчиком и приемником. Приемник РЛС БО выполнен по супергетеродинной схеме с малозумящим усилителем СВЧ-диапазона на входе. Автоматическая подстройка частоты гетеродина позволяет использовать достаточно узкополосный приемник с оптимизированным соотноше-

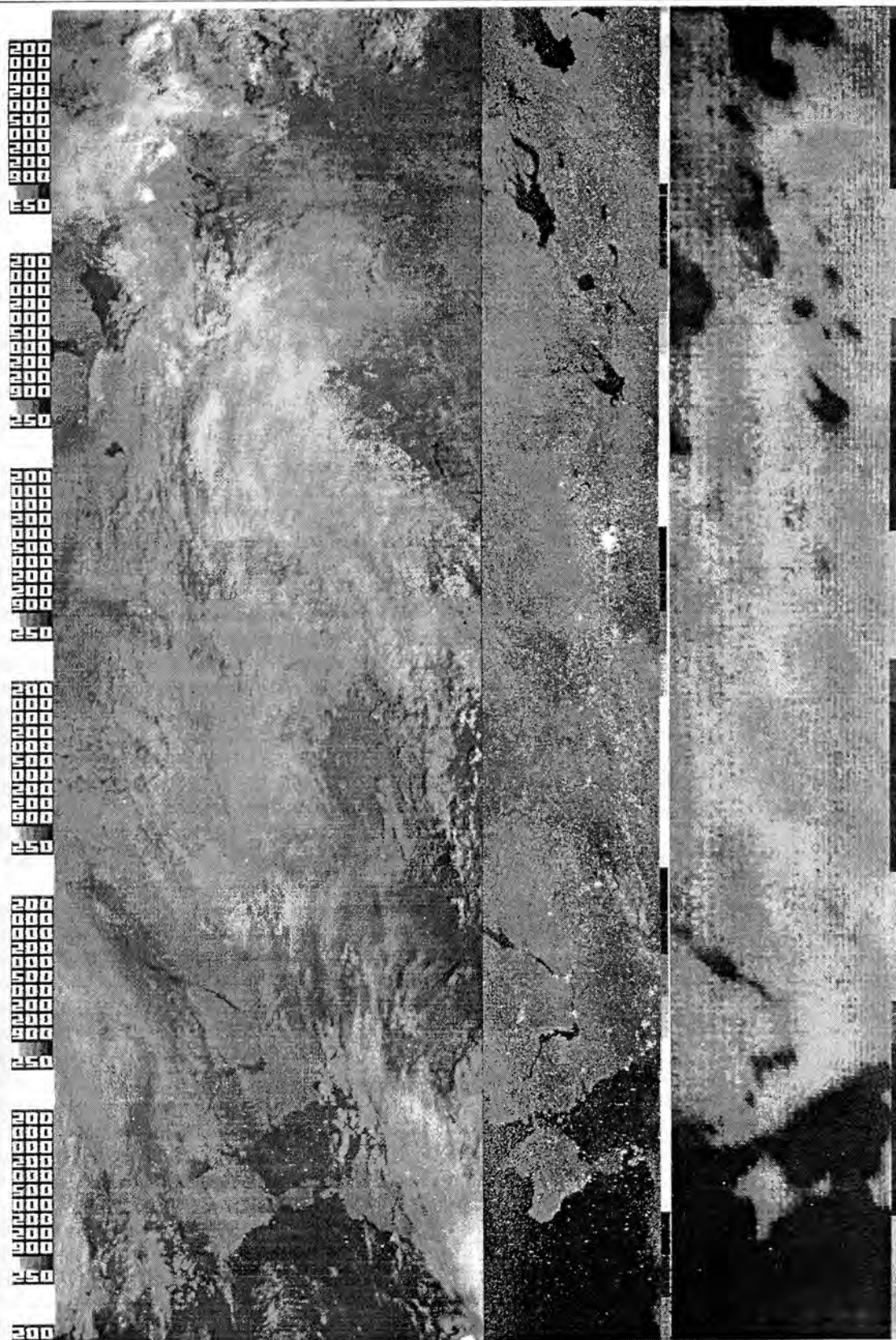


Рис. 5. Радиотепловое (а), радиолокационное (б) и оптическое (в) изображения в едином формате в «совмещенном» режиме работы

нием сигнал/шум на выходе. Передатчик РЛС БО выполнен на импульсном магнетроне. В РЛС БО предусмотрена сквозная калибровка потенциала [4], для чего используется ослабленный и задержанный во времени СВЧ-импульс передатчика, который через управляемый аттенюатор и направленный ответвитель подается на вход приемника. Калибровочный сигнал, пройдя все цепи приемника, блока обработки сигнала и линии передачи, фиксируется на выходном бланке в виде периодически повторяющегося восьмиградационного яркостного клина, примыкающего к радиолокационному изображению. По изменению яркости градаций калибровочного клина можно контролировать изменение характеристик радиолокатора и учитывать их при обработке информации [11]. Наличие калибровочного клина позволяет получать абсолютные значения удельной эффективной площади рассеяния исследуемой поверхности [12].

Сканирующий радиометр [3] выполнен по модуляционной схеме и представляет собой супергетеродинный приемник с модулятором на входе. Радиометр состоит из сканирующей антенны [8], модулятора, приемника, генератора опорного напряжения, синхронного детектора, интегратора, блока калибровки, блока управления сканированием, усилителей постоянного тока и коммутатора.

Антенная система СКРМ представляет собой фрагмент параболического цилиндра, на фокальной оси которого расположен сканирующий облучатель, выполненный на основе диэлектрического волновода, в электродинамическом взаимодействии с которым находится набор рассеивателей, размещенных на цилиндрическом барабане вдоль его образующих [6]. Размер апертуры антенной системы 1150×580 мм². Управление диаграммой направленности при сканировании осуществляется с помощью шагового двигателя [5], который вращением барабана последовательно подключает к диэлектрическому волноводу облучателя соответствующие рассеиватели. Используемая антенная система за счет соответствующего выбора параметров рассеивателей позволяет осуществлять сканирование по строчно-линейному закону без потерь времени на обратный ход луча. Высокая чувствительность при рабочей постоянной времени обеспечивается применением на входе приемника мал шумящего усилителя с температурой шумов менее 300 К. Низкочастотная часть радиометра выполнена на синхронных фильтрах. Установка требуемого диапазона измеряемых радиояркостных температур производится по командам с Земли.

В радиометре предусмотрена сквозная калибровка приемо-преобразовательного тракта с помощью

твердотельного СВЧ-генератора, работающего в шумовом режиме. Пройдя через антенну и все цепи приемника, калибровочный сигнал используется для организации режима автоматической стабилизации параметров РМ-08, а также в виде яркостного, периодически повторяющегося восьмиградационного клина выдается на фотобланке рядом с радиотепловым изображением. На время калибровки прием излучения из окружающей среды прекращается [3], а фаза опорного напряжения, подаваемого на синхронный детектор, изменяется на 180° [14].

Стабильность параметров комплекса радиофизической аппаратуры обеспечивается термостабилизацией основных узлов радиолокатора и радиометра.

Линии передачи информации РТВК имеют сравнительно узкие полосы передаваемых частот, согласованные со скоростью передачи оптической информации. При этом МСУ-М осуществляет построчный обзор земной поверхности в диапазоне углов $\pm 53^\circ$ от надира. Скорость сканирования МСУ-М составляет четыре строки в секунду и согласована с временем строчной развертки фототелеграфного аппарата, являющегося выходным прибором пунктов приема информации. Поэтому для трансляции совместных изображений информация РЛС БО и РМ-08 приводится к такому же виду, что позволяет разместить ее на том же бланке фототелеграфного аппарата, заняв часть зоны информации МСУ-М, лежащей далеко за пределами выбранной совместной полосы обзора, и согласовав скорости ее передачи.

Для этого сигналы с выходов радиолокатора и радиометра подаются на аналого-цифровые преобразователи в соответствующие каналы БОС, затем стробируются и заносятся в соответствующие ячейки памяти буферного регистра. В буферном регистре памяти в канале РЛС БО для уменьшения дисперсии флуктуаций уровней принятого сигнала производится их накопление [20]. Кроме того, для выравнивания яркости изображения по строке в обоих каналах производится коррекция уровней. При этом в канале РЛС БО устраняется зависимость уровня сигналов от изменения наклонной дальности до исследуемого элемента.

После выполнения этих процедур сигналы переносятся в соответствующие ячейки выходного регистра.

В блок обработки сигналов информация, получаемая РЛС БО и РМ-08, поступает с различными геометрическими искажениями вдоль строки. Это связано с тем, что строка РМ формируется со скоростью, пропорциональной изменению угла обзора, а строка РЛ — со скоростью, пропорциональ-

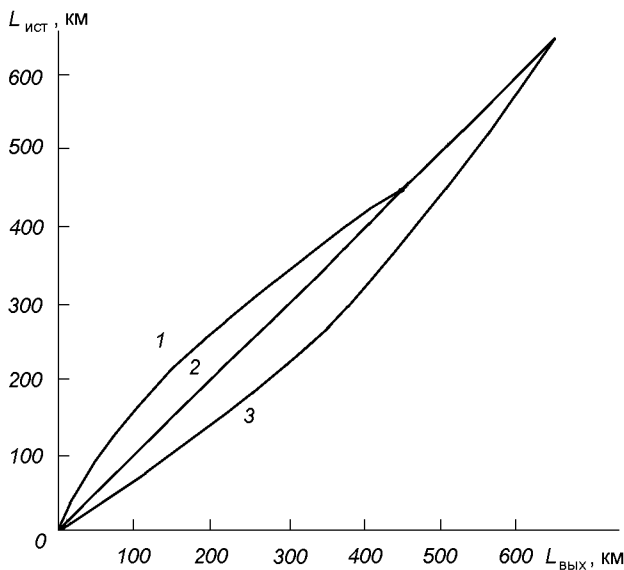


Рис. 6. Эффективность геометрической коррекции положения точек в полосе обзора на радиоизображениях от их действительного расположения на поверхности Земли: 1, 3 — РЛС БО и РМ-08 до коррекции; 2 — РЛС БО и РМ-08 после коррекции

ной изменению наклонной дальности. С целью устранения геометрических искажений масштаба информация из выходного регистра считывается по нелинейному во времени закону. Эффективность такой геометрической коррекции иллюстрирует рис. 6, на котором приведены зависимости положения точек в полосе обзора $L_{\text{вых}}$ на радиоизображении от действительного их расположения на поверхности Земли $L_{\text{ист}}$. Кривая 1 соответствует РЛС БО, кривая 3 — радиометру до коррекции и кривая 2 — РЛС БО и РМ-08 после коррекции.

Для согласования скорости поступления информации СКРМ 1 строка/с со скоростью считывания 4 строки/с информация с выходного регистра канала РМ-08 считывается четыре раза в секунду.

Хронизатор обеспечивает синхронную работу всех трех датчиков.

Геометрическая схема размещения секторов наблюдения каждого из датчиков системы приведена на рис. 7. Ширины полос обзора РМ-08 и МСУ-М выбраны существенно большими, чем РЛС БО. Это связано с тем, что ширина и положение точек начала и конца полосы обзора каждого из датчиков на земной поверхности существенным образом зависят от изменения в процессе эксплуатации высоты ИСЗ и параметров его ориентации (углов крена, рыскания и тангажа). Проиллюстрируем это влияние на примере вариаций высоты ИСЗ.

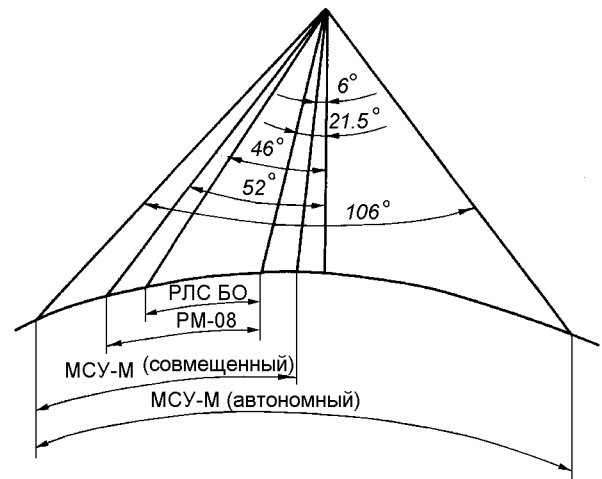


Рис. 7. Схема размещения секторов наблюдения датчиков системы

Увеличение высоты ИСЗ приведет к тому, что при фиксированных значениях начального и конечного углов секторов сканирования ширина полосы обзора РМ-08 и МСУ-М увеличится. Увеличится и расстояние по земной поверхности от подспутниковой точки до начала полосы обзора. Для РЛС БО увеличение высоты ИСЗ при фиксированных значениях наклонной дальности до исследуемых участков поверхности (времени прихода отраженного сигнала) приведет к уменьшению расстояния от подспутниковой точки до начала полосы обзора и ее сужению. Уменьшение высоты ИСЗ приведет к противоположным изменениям.

Вариации высоты ИСЗ приведут таким образом ко взаимному смещению на радиоизображениях участков исследуемой поверхности. На рис. 8 приведено изменение ошибки привязки ΔS (несовпадение точек в полосах обзора РЛС БО и РМ-08) вдоль полосы обзора L при различных отклонениях высоты ΔH для средней высоты $H_{\text{ср}} = 650$ км.

Изменения в процессе эксплуатации параметров ориентации также будут приводить к «разбежке» полос обзора датчиков комплекса. Влияние изменения угла крена κ на ошибки привязки изображений ΔS вдоль полосы обзора L показано на рис. 9.

С целью уменьшения влияния этих факторов на ширину совмещенной полосы обзора всех трех датчиков, полосы обзора РМ-08 и МСУ-М выбираются больше, чем РЛС БО, а в канале обработки информации РЛС БО в БОС предусмотрена возможность установки необходимых значений наклонной дальности (времени задержки) начала полосы обзора по

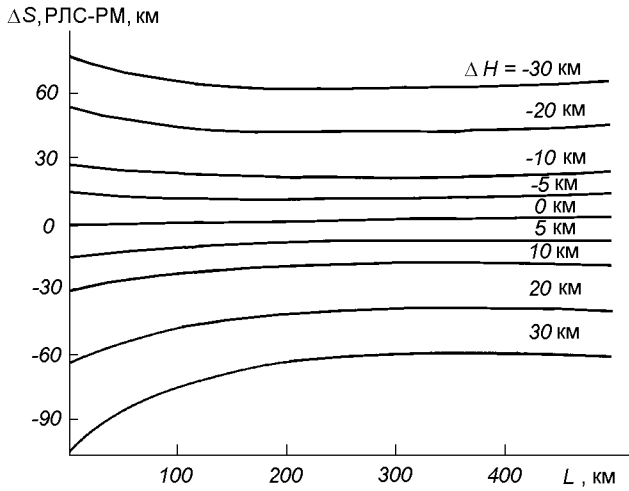


Рис. 8. Ошибки взаимной привязки элементов радиолокационного и радиотеплового изображений при вариациях высоты ИСЗ

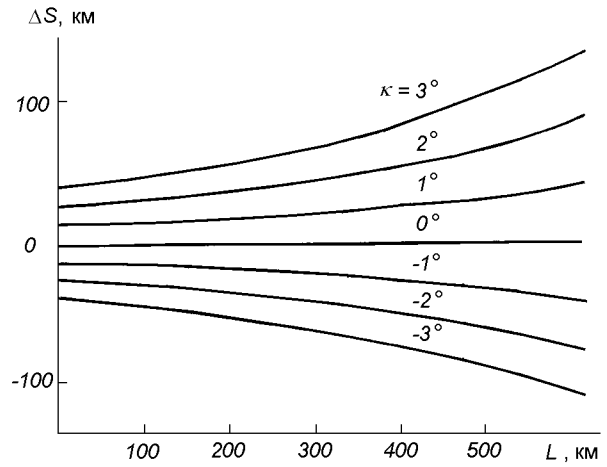


Рис. 9. Ошибки взаимной привязки элементов РЛ и РМ изображений при вариациях угла крена ИСЗ

командам с Земли на основе прогноза высоты ИСЗ над интересующим районом для совмещения начальных участков полос обзора датчиков.

Система дистанционного зондирования ИСЗ «Сич-1» обеспечивает возможность как комплексного (РЛС БО, РМ-08 и оптика), так и раздельного включения аппаратуры в любой комбинации без изменения масштабов изображения в «совмещенном» режиме и с изменением масштаба радиоизоб-

ражений в режимах «автономный 1» (РЛС БО и РМ-08) и «автономный 2» (только РЛС БО).

Структура строки информационного кадра в различных режимах работы для восходящего витка приведена на рис. 10 (а — в совмещенном режиме, б — в режиме «автономный 1», в — в режиме «автономный 2», г — в режиме «автономный МСУ-М»).

На информационном бланке, полученном с ИСЗ

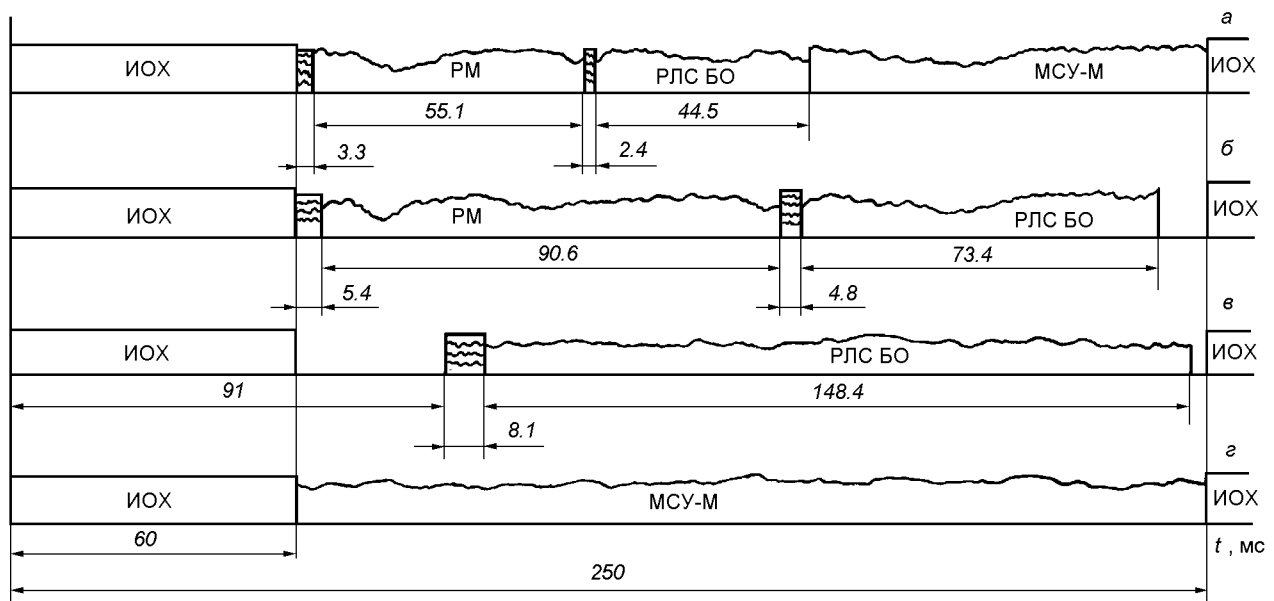


Рис. 10. Структура строки информационного кадра в различных режимах работы: а — в «совмещенном» режиме, б — в режиме «автономный 1», в — в режиме «автономный 2», г — в режиме «автономный МСУ-М»

Основные параметры приборов комплекса РФА ИСЗ «Січ-1»

Параметр	РЛС БО	РМ-08	Примечание
Длина волны, см	3.1	0.82	
Поляризация	ВВ	Г	
Диапазон углов наблюдения	20°—46°	21°—51°	от надира
Ширина ДН антенны			
— в азимутальной плоскости	0.2°	0.8°	
— в угломестной плоскости	42°	0.5°	
Пространственное разрешение, км			среднее в полосе обзора
— при передаче по М-линии	2 × 2.5	10 × 15	
— при передаче по ДМ-линии	0.8 × 2.5	10 × 15	
Чувствительность приемника	– 140 дБ/Вт	3.5 К	при рабочей $\tau = 0.008$ с
Мощность передатчика	100 кВт		в импульсе
Длительность импульса, мкс	3		
Время интегрирования		8 мс	
Частота повторения импульсов	Гц	100	
Скорость сканирования, 1/с		1	строка в с
Угол отворота антенны от надира, град	35	45	нормаль к апертуре
Диапазон измеряемых температур, К		110—330 150—250	по командам с Земли
Высота орбиты ИСЗ, км	650		средняя
Наклонение орбиты	82.6°		
Полоса обзора, км	450	550	для средней высоты

на нисходящем витке в «совмещенном» режиме (рис. 5) для удобства восприятия север расположен вверху изображения. При этом цикл сканирования соответствует движению от правой грани изображения к его левой грани. Правую часть информационного поля занимает радиотепловое изображение участка территории СНГ от Белого до Черного морей, в центре — радиолокационное изображение этого же района, слева — его оптическое изображение. В начале информационных полей радиометра и радиолокатора расположены калибровочные клинья, слева от оптического изображения находится служебная информация РТВК.

Основные параметры приборов комплекса радиофизической аппаратуры ИСЗ приведены в таблице.

С помощью комплекса РФА ИСЗ «Січ-1» регулярно проводились съемки территории Украины. Полученная информация использовалась в научных и практических целях широким кругом отечественных потребителей. Весьма эффективным было использование полученных данных для гидрометеорологических наблюдений, в том числе при разработке прогнозов прохождения весеннего паводка весной 1996 года. Комплекс РФА ИСЗ «Січ-1» успешно применялся для океанографических исследований, изучения крупномасштабных процессов взаимодействия океана и атмосферы (в том числе ураганов, тайфунов), наблюдения ледяных покровов Арктики и Антарктики.

1. А. с. 1111582 СССР, МКИ⁴ G 01 S 13/95. Способ дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности Земли / В. П. Шестопапов, Ю. А. Афанасьев, Б. Е. Хмыров и др.—№ 3581264; Заявл. 03.05.83.
2. А. с. 1200708 СССР, МКИ⁴ G 01 W 1/00. Система метеорологического зондирования / В. П. Шестопапов, Ю. А. Афанасьев, В. А. Комяк и др.—№ 3670976; Заявл. 22.08.85.
3. А. с. 1217101 СССР, МКИ⁴ G 01 S 13/95. Сканирующий радиометр для дистанционного зондирования / А. П. Евдокимов, В. А. Комяк, В. В. Крыжановский и др.—№ 3837351; Заявл. 08.11.85.
4. А. с. 1236910 СССР, МКИ⁴ G 01 S 13/95. Радиолокационное устройство для дистанционного зондирования / А. С. Курекин, В. Б. Ефимов, А. И. Калмыков и др.—№ 3824366; Заявл. 08.02.84.
5. А. с. 1251691 СССР, МКИ⁴ G 01 S 13/95. Радиометр для оперативного дистанционного зондирования и блок сканирования / А. П. Пичугин, М. В. Бухаров, В. А. Комяк и др.—№ 3788385; Заявл. 25.01.86.
6. А. с. 1272935 СССР, МКИ⁴ H 01 Q 13/20. Антенна миллиметрового диапазона волн / С. Д. Андренко, А. П. Евдокимов, В. В. Крыжановский и др.—№ 3779965; Заявл. 22.07.84.
7. Ворсин Н. Н., Глотов А. А., Мирковский В. Г. и др. Натурные радиотепловые измерения пенных образований // Исслед. Земли из космоса.—1982.—№ 3.—С. 98—102.
8. Евдокимов А. П., Крыжановский В. В., Провалов С. А. Современное состояние сканирования лучом ДН в антеннах радиометрических комплексов миллиметрового диапазона // Радиофизические методы и средства для исследований окружающей среды в миллиметровом диапазоне: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1988.—С. 160—166.
9. Ефимов Е. Б., Калмыков А. И., Комяк В. А. и др. Радиолокационная система дистанционного зондирования морской поверхности ИСЗ серии «Океан» // Материалы 16

- Междунар. науч.-техн. конф. секции радиосвязи и радионавигации СПб НТОВТ. — М., 1992.—Т. 1.—С. 303.
10. Калмыков А. И., Ефимов В. Б., Кавелин С. С. и др. Радиолокационная система ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1984.—№ 5.—С. 84—93.
 11. Калмыков А. И., Курекин А. С., Ефимов В. Б. и др. Радиолокатор бокового обзора ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 3.—С. 76—83.
 12. Калмыков А. И., Курекин А. С., Комяк В. А. и др. Радиолокационная система бокового обзора для исследования Земли из космоса // Тр. ГосНИЦИПР.—1986.—Вып. 25.—С. 21—36.
 13. Комяк В. А., Курекин А. С., Цымбал В. Н., Шило С. А. Комплексирование активных и пассивных радиолокационных систем аэрокосмического базирования для решения океанографических задач // Материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. по радиосвязи и навигации. — М.: Мортехинформреклама, 1992.—С. 304.
 14. Кочеров С. А. Использование высокотемпературных эталонов для калибровки микроволновых радиометров // Тр. ГосНИЦИПР.—1982.—Вып. 14.—С. 19—23.
 15. Мельник Ю. А. Радиолокационные методы исследования Земли. — М.: Сов. радио, 1980.—284 с.
 16. Пичугин А. П., Комяк В. А., Малышенко Ю. И. Влияние атмосферы и снежного покрова на излучательные характеристики льдов // Неконтактные методы и средства измерений океанографических параметров. — М.: Гидрометеозидат, 1986.—С. 119—123.
 17. Селиванов А. С., Гектин Ю. М., Нараева М. К. и др. Исследование океана с помощью многоспектральных сканирующих устройств малого разрешения // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 3.—С. 70—76.
 18. Селиванов А. С., Тучин Ю. М. Радиотелевизионный комплекс спутников «Метеор» для исследования природных ресурсов Земли // Исслед. Земли из космоса.—1981.—№ 5.—С. 28—34.
 19. Сластенко А. Н., Иголкин В. В. Долгополова Л. А. Методика расчета нерезонансной волноводнощелевой антенны с большой апертурой и определения допусков на конструктивные параметры. — Харьков, 1983.—20 с.—(Препринт / АН УССР. Ин-т радиофизики и электроники; № 233).
 20. Фетисов А. Б. Особенности бортовой обработки информации при дистанционном зондировании природной среды // Радиофизические методы и средства для исследований окружающей среды в миллиметровом диапазоне: Сб. научн. тр. — Киев: Наук. думка, 1988.—С. 60—64.
 21. Шестопапов В. П., Калмыков А. И., Комяк В. А. и др. Комплексные исследования природной среды Земли радиолокационным методом // Докл. АН СССР.—1985.—284, № 1.—С. 98—102.
 22. Шестопапов В. П., Калмыков А. И., Комяк В. А. и др. Радиолокационная система бокового обзора для исследования Земли ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 2.—С. 71—75.
 23. Onstott R. G., Moor R. K., Gogineni S., Delkev C. Four years of low-altitude sea ice broadband backscatter measurements // IEEE Trans. Ocean Eng.—1982.—OE-7, № 1.—P. 44—50.

RADIOPHYSICAL INSTRUMENTATION COMPLEX OF THE «SICH-1» SATELLITE

V. I. Dranovskiy, V. V. Dyunyashev, A. P. Evdokimov, V. B. Efimov, V. V. Igoikin, A. I. Kalmykov, V. A. Komyak, V. V. Kryzhanovskiy, A. S. Kurekin, V. Yu. Levantovskiy, A. S. Levda, V. V. Rybin, Yu. D. Saltykov, A. B. Fetisov, V. N. Tsybal, S. A. Shilo, and S. E. Yatsevich

Based on the analysis of advantages of complex use of the information from active and passive radar systems, we ground the structure and parameters of a space-based radiophysical instrumentation for remote sensing in a ground — atmosphere system. We give some examples of observations of natural environment and analyse the results obtained.