

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R RS.1165-3
(12/2018)

**Технические характеристики и критерии
эффективности функционирования
для систем во вспомогательной службе
метеорологии в полосах частот
403 МГц и 1680 МГц**

Серия RS
Системы дистанционного зондирования



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2019 г.

© ITU 2019

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.1165-3

**Технические характеристики и критерии эффективности функционирования
для систем во вспомогательной службе метеорологии в полосах частот
403 МГц и 1680 МГц**

(1995-1997-2006-2018)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации даны технические характеристики и критерии эффективности функционирования для систем во вспомогательной службе метеорологии в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц. Охвачены все возможные системы MetAids: радиозонды, сбрасываемые радиозонды и ракетные зонды.

Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R RS.1263-1 – Критерии помех для вспомогательной службы метеорологии, работающей в полосах частот 400,15–406 МГц и 1668,4–1700 МГц

Рекомендация МСЭ-R P.528 – Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ

Рекомендация МСЭ-R SA.1021 – Методика определения качественных показателей для систем спутниковой службы исследования Земли и метеорологической спутниковой службы

Ключевые слова

MetAids, радиозонды, ракетные (радио)зонды, сбрасываемые (радио)зонды.

Сокращения/гlossарий

AFC	Automatic frequency control	АРЧ	Автоматическая регулировка частоты
AXBT	Airborne expendable bathythermograph		Самолетный сбрасываемый батитермограф
FM	Frequency modulation	ЧМ	Частотная модуляция
GDPS	Global data-processing system	ГСОД	Глобальная система обработки данных
GFSK	Gaussian frequency shift keying		Гауссова частотная манипуляция
GMSK	Gaussian minimum shift keying		Гауссова манипуляция с минимальным сдвигом
GOS	Global observing system	ГСН	Глобальная система наблюдений
GTS	Global telecommunications system	ГСЭ	Глобальная система электросвязи
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development	ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития
PTU	Pressure, temperature and relative humidity		Давление, температура и относительная влажность
QAM	Quadrature amplitude modulation		Квадратурно-амплитудная модуляция
RDF	Radio direction finding		Радиопеленгация
RNSS	Radionavigation satellite service	РНСС	Радионавигационная спутниковая служба
RR	Radio Regulations	РР	Регламент радиосвязи
WMO	World Meteorological Organization	ВМО	Всемирная метеорологическая организация

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что все измерения, производимые в верхних слоях атмосферы с помощью радиозондов, являются неотъемлемой частью программы Всемирной службы погоды Всемирной метеорологической организации (ВМО);
- b) что многие службы обороны вводят в действие системы радиозондирования в целях поддержки различного рода выполняемых работ, независимых от программы Всемирной службы погоды;
- c) что многие системы радиозондирования используются для местного и регионального слежения за состоянием атмосферного загрязнения, а также для определения траекторий выбросов опасных веществ в результате природных или антропогенных бедствий;
- d) что системы радиозондирования, используемые во вспомогательной службе метеорологии, имеют уникальные требования радиосвязи;
- e) что радиозонды, сбрасываемые радиозонды и ракетные зонды, используемые во вспомогательной службе метеорологии (службе MetAids), в основном работают в полосах частот 400,15–406 МГц (называемой полосой частот 403 МГц) и 1668,4–1700 МГц (называемой полосой частот 1680 МГц) с ограничениями согласно положению п. **5.379E** Регламента радиосвязи (РР);
- f) что радиозонды в службе MetAids поднимаются с помощью воздушных шаров, запускаемых с наземных станций или судов, сбрасываются с самолетов и спускаются на парашюте (сбрасываемые зонды) или поднимаются в атмосферу с помощью ракет (ракетные зонды);
- g) что требуемые рабочие характеристики передачи радиозондам и от радиозондов должны согласовываться с сопутствующими функциональными требованиями и ограничениями эксплуатации, связанными как с системами, так и с полосами частот, в которых требования будут удовлетворяться;
- h) что требуемые рабочие характеристики для образцов систем, используемых в службе MetAids, предназначены для того, чтобы предоставить руководящие принципы по разработке реальных систем, которые должны будут функционировать в условиях совместного использования частот;
- i) что требуемые рабочие характеристики для конкретных систем могут быть определены с использованием методики, аналогичной методике, описанной в Рекомендации МСЭ-R SA.1021;
- j) что требуемые рабочие характеристики являются необходимым условием для определения критериев помех;
- k) что Рекомендация МСЭ-R RS.1263 содержит критерии помех для систем вспомогательной службы метеорологии, работающих в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц;
- l) что Резолюция **205 (Пересм. ВКР-12)** касается защиты систем, работающих в подвижной спутниковой службе в полосе частот 406–406,1 МГц,

рекомендует

- 1** считать технические и эксплуатационные характеристики, изложенные в Приложении 1, типовыми для систем вспомогательной службы метеорологии в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц;
- 2** учитывать критерии эффективности функционирования, указанные в таблице 3 Приложения 1, при разработке критериев помех и проведении исследований совместного использования частот с другими службами.

Приложение 1

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Приложение 1	3
1 Введение.....	4
1.1 Ежедневное функционирование метеорологических систем.....	4
1.2 Наблюдение за изменением климата.....	5
1.3 Другие пользователи.....	5
2 Особенности работ, производимых с радиозондами.....	6
3 Радиочастотный спектр, используемый для передачи данных ВМО.....	6
3.1 Результаты обзора ВМО.....	6
3.2 Радиочастотный спектр, используемый в Западной и Северной Европе.....	7
3.3 Радиочастотный спектр, используемый в Северной и Южной Америке.....	7
4 Эксплуатационные требования.....	8
5 Требования к радиочастотному спектру в будущем.....	8
5.1 Очень сильные ветры в верхних слоях атмосферы.....	9
5.2 Возросшая благодаря высокоавтоматизированным системам эффективность персонала.....	9
5.3 Проблемы, связанные со стоимостью радиозондов.....	9
5.4 Независимость от международных систем NAVAID.....	10
5.5 Перегруженность спектра.....	10
5.6 Повышение эффективности спектра на данном этапе.....	10
5.7 Обнаружение и исправление ошибок.....	11
6 Требования к доступности MetAids	11
6.1 Условия распространения.....	12
6.2 Наиболее важные периоды полета	14
6.3 Требования к доступности данных радиозонда, используемого для синоптических работ.....	15
6.4 Краткое содержание требований к доступности данных	18
7 Характеристики радиосвязи современных систем радиозондов.....	19
7.1 Характеристики передатчиков.....	19
7.2 Приемные системы.....	20

8	Характеристики радиосвязи систем сбрасываемых радиозондов	23
8.1	Практика эксплуатации сбрасываемых радиозондов	24
8.2	Характеристики систем сбрасываемых радиозондов	24
8.3	Планы совершенствования сбрасываемых радиозондов в будущем.....	25
9	Характеристики радиосвязи систем ракетных радиозондов.....	25
9.1	Практика эксплуатации ракетных радиозондов	25
9.2	Характеристики систем ракетных радиозондов	26
9.3	Профиль снижения ракетного радиозонда	27

1 Введение

1.1 Ежедневное функционирование метеорологических систем

Вспомогательные метеорологические средства¹ в основном используются для измерений на месте (in situ) метеорологических параметров в верхних слоях атмосферы (давления, температуры, относительной влажности, скорости и направления ветра) высотой до 36 км. Эти измерения жизненно необходимы для прогнозирования погоды в стране (и, следовательно, для служб оповещения населения об опасных (как для жизни, так и для имущества) метеорологических явлениях). Вспомогательные метеорологические средства и связанные с ними системы слежения позволяют одновременно получать измерения вертикальной структуры температуры, относительной влажности, а также скорости и направления ветра по всей высоте. Изменение этих метеорологических параметров по вертикали предоставляет большую часть информации, необходимой для прогнозирования погоды. Системы MetAids являются единственными системами наблюдения, способными регулярно давать вертикальное разрешение, которое требуется метеорологам по всем четырем параметрам. Установление высот, на которых происходят внезапные изменения параметров, жизненно важно. Таким образом, большое значение имеет тот факт, что надежные измерения производятся в течение всего подъема радиозонда.

Наблюдения MetAids производятся радиозондами, поднимаемыми с помощью воздушных шаров, которые, в свою очередь, запускаются с наземных станций или судов; сбрасываемыми радиозондами, запускаемыми с помощью авиации и спускающимися на парашютах; а также ракетными зондами, поднимаемыми в атмосферу с помощью ракет и спускающимися на парашюте во время сбора данных. Радиозондовые наблюдения регулярно производятся почти всеми странами от двух до четырех раз в день. После этого данные наблюдений немедленно передаются всем остальным странам в течение нескольких часов посредством Глобальной системы электросвязи (ГСЭ) ВМО. Системы наблюдения и распространение данных входят в структуру программы Всемирной службы погоды (ВСП) ВМО.

¹ В данной Рекомендации упоминаются радиозонды, сбрасываемые радиозонды и ракетные зонды, используемые во вспомогательной службе метеорологии (службе MetAids). Термин MetAids употребляется в случаях, когда речь идет обо всех трех типах систем. Конкретное название системы (радиозонд, сбрасываемый радиозонд, ракетный зонд) используется, когда речь идет об одном или двух конкретных типах систем.

Сеть радиозондов является основным глобальным источником производимых в режиме реального времени измерений *in situ*. В соответствии с Регламентами ВМО (Руководство по Глобальной системе обработки данных (ГСОД)) радиозондовые измерения должны быть сделаны и разосланы всем центрам ГСОД по всему миру на национальном, региональном и глобальном уровнях для последующего цифрового прогнозирования погоды. Станции наблюдения должны быть расположены по всему миру на расстоянии не более 250 км в течение первых десяти лет XXI века, и частота наблюдений должна составлять от одного до четырех раз в день. Однако модели цифрового прогнозирования погоды для метеорологических явлений небольшого масштаба (например, гроз, местных ветров, торнадо) и непредвиденных природных явлений в действительности потребуют проведения местных наблюдений в верхних слоях атмосферы каждые 1–3 часа при горизонтальном разрешении от 50 до 100 км. Наблюдения должны проводиться с помощью различных систем наблюдения, выбираемых в зависимости от потребностей национальной администрации, включая измерения MetAids, измерения радаром профиля ветра или измерения, производимые с помощью спутников.

Радиозондовые наблюдения важны для поддержания стабильности в Глобальной системе наблюдения (ГСН) ВМО. Измерения, сделанные на расстоянии со спутников, не имеют вертикального разрешения, в отличие от измерений, произведенных радиозондами. Для того чтобы успешно выделить вертикальную структуру температуры из данных, полученных со спутника, обычно требуются расчеты, начальными условиями которых служат либо статистические данные радиозонда, либо собственно цифровой прогноз погоды. В последнем случае радиозондовые измерения служат для того, чтобы удостовериться в точности и стабильности во времени вертикальной структуры, полученной в этих прогнозах. Кроме того, радиозондовые измерения используются для проверки спутниковых наблюдений с помощью множества методик. Таким образом ожидается, что радиозондовые наблюдения останутся абсолютно необходимыми для метеорологической работы в обозримом будущем.

1.2 Наблюдение за изменением климата

В последние 20 лет наблюдаются изменения в температуре воздуха и озоновом слое, самые заметные из них происходят на высоте от 12 до 30 км над поверхностью Земли. Стандартные ежедневные радиозондовые наблюдения на высотах до 30 км определяют вертикальное распределение происходящих изменений и таким образом позволяют определить причины изменений. Измерения озоновыми зондами на аналогичных высотах определяют вертикальное распределение истощения озонового слоя, которое наблюдается зимой и весной как в северном, так и в южном полушариях. В эти периоды многие страны запускают озоновые зонды минимум три раза в неделю, отслеживая происходящие изменения.

Для успешного определения изменений в климате необходимо использование радиозондов с установленными характеристиками систематических погрешностей. В связи с требованием непрерывности проведения измерений в верхних слоях атмосферы предполагается, что новые модели радиозондов должны вводиться в эксплуатацию только после нескольких лет интенсивных испытаний как в лабораторных условиях, так и в свободной атмосфере.

1.3 Другие пользователи

Другие системы MetAids могут использоваться независимо от основной гражданской метеорологической организации национальными научно-исследовательскими институтами и иными пользователями. Отдельными видами являются исследования загрязнения окружающей среды, гидрологические исследования, исследования радиоактивности в свободной атмосфере, значительных погодных явлений (например, зимних бурь, ураганов, гроз и т. д.), а также исследования различных физических и химических свойств атмосферы. Подобного рода использование систем MetAids не уменьшается со временем, поскольку с помощью современных средств автоматизации управлять подвижными системами и системами, находящимися на борту судов, стало намного проще, даже без высококвалифицированных операторов и большого количества вспомогательных средств. Функционирование MetAids должно удовлетворять потребностям всех пользователей, поэтому радиочастотный диапазон, необходимый для работы MetAids, расширяется. Это чрезвычайно важно в случаях, когда места запуска метеорологических организаций находятся на расстоянии менее 150 км от мест запуска других пользователей.

2 Особенности работ, производимых с радиозондами

Несмотря на то что многие работы с радиозондами проводятся согласно расписанию, они могут проводиться в любое время дня или ночи в соответствии со специфическими эксплуатационными требованиями, атмосферными условиями или требованиями испытаний. Синоптические радиозондовые наблюдения проводятся во всем мире для того, чтобы предоставить данные, необходимые для ежедневного прогнозирования погоды. Номинально стандартные наблюдения производятся в 00:00 и 12:00 UTC, но в действительности время запуска меняется в зависимости от национальной практики, и в некоторых случаях запуск может быть осуществлен по меньшей мере на три четверти часа раньше номинального времени. Запуск может быть произведен и на два часа позже запланированного времени в случае проблем с подготовкой радиозонда перед полетом, ограничений, наложенных местными правилами воздушного движения, или неполадок на начальной стадии полета. Также в некоторых странах регулярно производятся промежуточные наблюдения в 06:00 и 18:00 UTC. Дополнительные радиозонды и сбрасываемые радиозонды периодически запускаются синоптиками, часто с временных местоположений, используя подвижные системы, по причине аномальной погоды или необходимости испытаний. Полеты, не являющиеся синоптическими, планируются в целях удовлетворения эксплуатационных требований.

Радиозондовые сети поддерживаются и управляются национальными метеорологическими службами в соответствии с рекомендованными правилами эксплуатации и процедурами, установленными ВМО на международном уровне. Текущее число регулярно предоставляющих сведения станций радиозондирования составляет примерно 650. Около 500 000 радиозондов в год регулярно запускаются в сотрудничестве с сетью ВМО, и предполагается, что еще около 350 000 радиозондов используются в оборонных целях или предназначены для другого специализированного применения.

3 Радиочастотный спектр, используемый для передачи данных ВМО

3.1 Результаты обзора ВМО

В таблице 1 представлена оценка использования радиочастот синоптическими станциями радиозондирования, ежедневно передающими информацию для обмена метеорологическими данными ВМО. Эта информация основана на каталоге радиозондов и систем Upperwind, используемых членами ВМО. Результаты исследования сгруппированы по регионам, для того чтобы проиллюстрировать различия в использовании различных радиочастот по всему миру. Более детальную информацию можно найти в каталоге радиозондов и систем Upperwind, используемых членами ВМО. Выдвигая предложения о сегментации на диапазоны частот, следует учитывать тот факт, что полосы частот, распределенные MetAids на первичной основе, недоступны этой службе во всех странах. Например, в Австралии как минимум половина полосы частот 403 МГц на данный момент недоступна для работы MetAids.

Использование двух основных полос частот, распределенных MetAids (полосы частот 403 МГц и 1680 МГц), сильно различается в разных частях земного шара. Системы, работающие в полосе частот 1680 МГц, эксплуатировались в Соединенных Штатах Америки, но в настоящее время заменяются системами, работающими в полосе частот 403 МГц. Системы, работающие в полосе частот 1680 МГц, функционируют главным образом в Японии и Китае. Эти системы передают синоптические данные ГСТ ВМО. В указанных странах полосу частот 403 МГц в основном используют другие пользователи для несиноптических операций. В Европе полоса частот 403 МГц в большей степени используется для работы радиозондов в синоптических целях. Россия и ряд сотрудничающих стран используют частоты около 1780 МГц для работы радиозондов. Многие страны, использовавшие радиозонды на частоте 1780 МГц, перенесли свою работу в одну из двух основных распределенных полос частот, чтобы иметь возможность пользоваться имеющимся на рынке оборудованием.

ТАБЛИЦА 1

**Сводка использования радиочастот при работе с радиозондами
в ежедневных синоптических работах²**

Регион	Общее количество установок	Общее количество активных установок	Количество недействующих установок ¹⁾	Количество активных установок, использующих полосу частот 400 МГц	Количество активных установок, использующих полосу частот 1680 МГц	Количество активных установок, использующих полосу частот 1780 МГц ²⁾
Европа и Западная Россия	192	154	38	112	28	14
Азия и Восточная Россия	471	288	183	95	158	35
Африка	237	60	177	58	2	0
Северная Америка	277	148	129	58	90	0
Южная Америка и Антарктика	114	86	28	84	0	2
Австралия и Океания	191	90	101	81	9	0
Системы, установленные на судах	166	70	96	67	3	0
Общее количество	1 648	636	752	555	290	51

¹⁾ Недействующие установки – это установки, работа которых была приостановлена, но в будущем может возобновиться.

²⁾ Полоса частот 1780 МГц (1774–1790 МГц) используется в нескольких странах мира, но не распределена вспомогательной службе метеорологии в РР.

3.2 Радиочастотный спектр, используемый в Западной и Северной Европе

В западных и восточных областях Европы развернута плотная радиозондовая сеть, станции которой выполняют рутинные метеорологические операции, мониторинг состояния окружающей среды и различные оборонные операции. Большинство радиозондов работают в полосе частот 403 МГц. Несмотря на сохраняющееся использование некоторых аналоговых систем, большую часть теперь составляют цифровые радиозонды. Ожидается, что в ближайшем будущем эти аналоговые системы также будут заменены цифровыми. Для большинства цифровых радиозондов, используемых в Европе, разработаны согласованные европейские стандарты, включающие основные требования к спектральной маске и мощности передачи. Для аналоговых радиозондов согласованных стандартов нет, решение об их использовании принимается на национальном уровне.

3.3 Радиочастотный спектр, используемый в Северной и Южной Америке

Гражданская служба погоды в Соединенных Штатах Америки в основном использовала полосу частот 1680 МГц, но в настоящее время переводит связанную с использованием радиозондов работу в полосу частот 400,15–406 МГц. Другие пользователи в Соединенных Штатах Америки также используют

² Данные для этой таблицы взяты из WHO VOLA Legacy Report от 18 мая 2016 года.

полосу частот 403 МГц. Кроме того, большое количество систем в диапазоне 403 МГц используется несиноптическими службами. Дополнительные системы используются университетами или другими организациями Соединенных Штатов.

4 Эксплуатационные требования

Помимо точности, основными свойствами, которыми должен обладать проектируемый радиозонд, являются надежность, прочность, малый вес, небольшие размеры, низкая потребляемая мощность, эффективное использование спектра и стабильность частоты. Поскольку радиозонд обычно является одноразовым, он должен быть разработан таким образом, чтобы иметь низкую стоимость производства. Также важными факторами являются простота и стабильность калибровки датчиков. Радиозонд должен обладать способностью передавать данные по линии радиосвязи на расстояния минимум 200 км, а также функционировать при температурах от -90°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Поскольку напряжение батареи меняется в зависимости от времени и температуры, радиозонд должен быть спроектирован таким образом, чтобы переносить подобные изменения, не выходя за пределы установленной погрешности и требований по уходу радиочастоты. Связанное с ним наземное оборудование не должно быть чрезмерно сложным или требовать частого высококвалифицированного технического обслуживания. Предпочтительно, однако, в максимально возможной степени упрощать конструкцию радиозонда, даже за счет усложнения наземного оборудования, поскольку неполадки последнего исправить легче, а стоимость одноразового оборудования, отправляемого в полет, должна быть сведена к минимуму.

При полном полете радиозонда подъем длится от 90 до 120 минут, а спуск – примерно половину от времени подъема. Обычно радиозонд продолжает передавать данные даже во время снижения. Максимальное расстояние, на котором может быть получен качественный сигнал от радиозонда, находится в интервале от 200 до 350 км. Скорость подъема составляет около 5 м/с, а траектория полета зависит от преобладающего ветрового режима. Вообще в радиусе около 400–650 км вокруг наземной станции радиозондирования рабочая частота канала связи между радиозондом и станцией не может быть повторно использована другими пользователями. В областях с высокой плотностью радиозондовой сети внутри эффективной площади одного радиозонда находятся более десяти операторов радиозондов.

В западных и северных областях Европы сеть радиозондов плотная. Помимо синоптических наблюдений, ту же полосу частот приходится использовать и для метеорологических наблюдений, наблюдений за состоянием окружающей среды, научных исследований и деятельности оборонного характера. Во избежание возникновения помех между радиозондами различных станций требуется координация между операторами радиозондов.

5 Требования к радиочастотному спектру в будущем

Ожидается, что работы с радиозондами будут проводиться в обеих полосах частот – 403 МГц и 1680 МГц. Важно признать, что хотя для MetAids должно быть распределено более 30 МГц в полосе частот 1668,4–1700 МГц, значительная часть этой полосы частот не может быть ими использована из-за несовместимости с другими службами радиосвязи, работающими в той же полосе частот. Во многих частях земного шара для работ MetAids доступен только поддиапазон 1675–1683 МГц. Факторы, перечисленные ниже, могут повлиять на выбор государством полосы частот для использования.

5.1 Очень сильные ветры в верхних слоях атмосферы

Средняя сила ветров в верхних слоях атмосферы различна в зависимости от географического положения. В Японии и во многих прибрежных районах Северо-Западной Европы наблюдаются в среднем гораздо более сильные ветры между поверхностью земли и высотой 16 км, чем во всем остальном Северном полушарии. Ситуация осложняется для радиозондовых работ в Северо-Западной Европе, поскольку в более высоких широтах ветры на высотах между 16 и 30 км часто даже сильнее, чем в нижних слоях, большую часть зимы. Таким образом за радиозондами необходимо постоянно и тщательно следить на высотах, превышающих 150 км на очень малых углах поднятия. Подобные условия могут сохраняться в течение нескольких недель, и в климатических записях могут образоваться значительные пробелы, если в течение этого времени данные от радиозондов с верхних слоев атмосферы не могут быть получены.

Зимние наблюдения имеют большую ценность для исследования истощения озонового слоя, поэтому жизненно необходимо получать максимально возможное количество информации с верхних слоев атмосферы от радиозондов, несущих озоновые датчики, используемые в этом случае. По этой причине полоса частот 403 МГц, обеспечивающая превосходный прием, считается основной для работ в областях с сильными ветрами в верхних слоях атмосферы, сохраняющимися в течение длительных периодов времени. Для измерения ветра в верхних слоях атмосферы имеет место использование NAVAID или активного радиолокационного слежения.

Поэтому для установок, постоянно работающих в условиях сильных ветров, использование полосы частот 403 МГц предпочтительно по двум причинам. Во-первых, благодаря характеристикам распространения радиоволн полосы частот 403 МГц достигается более надежная связь на больших расстояниях. Во-вторых, многолучевое распространение накладывает ограничение на точность радиотеодолита на углах подъема, близких к горизонту. Таким образом, для точных измерений ветра в подобных неблагоприятных условиях на радиозонде необходимо использовать приемник РНСС.

5.2 Возросшая благодаря высокоавтоматизированным системам эффективность персонала

В прошлом многие национальные службы погоды по всему миру перешли к определению характеристик ветра с помощью NAVAID (в основном использовались LORAN-C), для того чтобы MetAids получили возможность работать в полосе частот 403 МГц в целях повышения эффективности работы персонала. Системы, работающие в полосе частот 403 МГц, обычно проще в управлении и обслуживании. Дополнительная стоимость радиозонда для определения характеристик ветра NAVAID компенсировалась значительной экономией, связанной с повышением эффективности, в частности работами, которые теперь могли выполняться одним человеком, и сокращением затрат на обслуживание наземного оборудования.

Однако в настоящее время производятся радиозонды на базе РНСС, которые могут работать в обеих полосах частот – 403 МГц и 1680 МГц. Эти радиозонды имеют преимущества, которыми ранее обладали только радиозонды на основе NAVAID, работающие в полосе частот 403 МГц.

Использование традиционных наземных систем NAVAID, таких как LORAN-C, было прекращено в 1997–2001 годах. Дальнейшее использование радиозондов LORAN-C возможно в тех районах мира, где еще будут использоваться системы LORAN-C.

5.3 Проблемы, связанные со стоимостью радиозондов

Основным ограничением радиозондовых наблюдений во всем мире является их стоимость. В странах, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), стоимость радиозондов составляет примерно четверть от общей стоимости радиозондовых наблюдений. Структура расходов заметно отличается в развивающихся странах, где основной статьей расходов являются расходы на радиозонды. Поскольку метеорологические данные должны быть глобальными, некоторые развитые страны бесплатно поставляют системы и части радиозондов некоторым развивающимся странам в целях поддержки наблюдений в верхних слоях атмосферы. Поэтому существует острая необходимость сохранять цены на радиозонды настолько низкими, насколько это возможно, для того чтобы быть уверенным в продолжении наблюдений, необходимых оперативной метеорологии, включая стороны ее деятельности, касающиеся защиты жизни. Основную часть общей стоимости радиозонда составляют

датчики и приборы для определения параметров ветра, в то время как передатчики намеренно сохраняются максимально простыми, обеспечивая таким образом низкую общую стоимость. Стоимость передатчиков составляет около 15–35% текущей стоимости электронного оборудования радиозонда.

Использование полосы частот 1680 МГц желательнее в некоторых странах, где возникновение проблем, связанных с сильным ветром, маловероятно и/или возникает беспокойство по поводу стоимости использования радиозондов, основанных на РНСС, в полосе частот 403 МГц. Работа в полосе частот 1680 МГц дает возможность использовать радиопеленгацию для измерения ветра, что более предпочтительно по сравнению с более дорогим радиозондом GPS. Радиозонды, используемые для метеорологических работ с радиотеодолитами или активной радиолокацией, представляют собой наиболее простую конструкцию с самой низкой ценой. Хотя следствием приобретения более сложных наземных станций является более высокая первоначальная стоимость, экономия достигается за счет эксплуатационных расходов за год, когда приобретается большое количество зондов, а затраты на персонал не столь значительны.

5.4 Независимость от международных систем NAVAID

В некоторых странах также может требоваться, чтобы системы зондирования верхних слоев атмосферы могли функционировать независимо от международных систем NAVAID, поскольку те могут быть недоступными во время чрезвычайных ситуаций. В подобных случаях вполне оправданно использование радиотеодолитов в полосе частот 1680 МГц или активной радиолокации в полосе частот 403 МГц.

5.5 Перегруженность спектра

В некоторых районах мира использования одной полосы частот будет недостаточно для удовлетворения потребностей пользователей MetAids в необходимом спектре. В этих районах используются обе полосы частот, чтобы обеспечить необходимый спектр для синоптических и оборонных работ, атмосферных исследований и другого применения. Недавние разработки в области радиозондов привели к сужению рабочей полосы частот радиозонда в 10 или более раз, что облегчает решение проблемы перегруженности спектра.

5.6 Повышение эффективности спектра на данном этапе

Одним из способов повысить эффективность спектра для радиозондов является более широкое применение систем цифровой телеметрии. Преимуществом этих систем является в основном более низкая загруженность ширины полосы, что позволяет повысить количество радиозондов, совместно использующих спектр. В стандарте ЕТСИ для цифровых радиозондов (тип В в таблице 4) устанавливается, что уход радиочастоты должен составлять не более чем ± 20 кГц при ширине занимаемой полосы 200 кГц. Новейшие радиозонды обеспечили еще большее улучшение этих характеристик, уменьшив уход частоты до менее чем ± 5 кГц. В некоторых конструкциях радиозондов уход частоты уменьшился до ± 2 кГц, а ширина занимаемой полосы – до 12 кГц.

В некоторых странах из-за более низкой стоимости по сравнению с РНСС продолжается использование LORAN-C для определения параметров ветра. Работа в условиях высокой плотности сети (то есть на расстояниях 100 км) осложняется из-за широкой полосы пропускания радиозондов LORAN-C.

ВМО стимулирует переход других регионов мира, использующих для определения параметров ветра широкополосные радары, на узкополосные системы из-за необходимости совместной работы с другими системами в одном спектре радиочастот.

Системы, работающие в полосе частот 1680 МГц, еще не использовались в таких плотных сетях, и поэтому подобные требования к стабильности передатчиков еще не были предъявлены основным поставщикам. Таким образом некоторое увеличение эффективности использования спектра в данной полосе частот возможно в тех регионах мира, где требуется приблизительно чуть более 8 МГц, при условии что изменения будут сделаны в течение такого промежутка времени, который не приведет к значительному увеличению стоимости радиозондов, которых это изменение коснется.

Предлагая сегментацию на диапазоны частот, следует учитывать тот факт, что полосы частот, распределенные MetAids, изначально недоступны этой службе во всех странах. Например, в Австралии как минимум половина полосы частот 403 МГц на данный момент недоступна для работы MetAids.

5.7 Обнаружение и исправление ошибок

Спектральная эффективность цифровых систем MetAids повысилась благодаря увеличению стабильности частоты, уменьшения коэффициента ошибок по битам (BER) и снижения мощности передатчика. Показатель BER стал меньше благодаря использованию упреждающей коррекции ошибок (FEC). При кодировании к данным, передаваемым передатчиком, добавляются дополнительные биты, которые при получении используются для обнаружения ошибок (например, блочное кодирование, в частности кодирование по методу Рида-Соломона (RS)). Коды Рида-Соломона широко используются в современных цифровых средствах передачи информации, таких как компакт-диски, подвижная и спутниковая связь. Код коррекции ошибочных битов улучшает характеристики телеметрической линии.

Код Рида-Соломона можно представить в виде $RS(n, k)$, где n – длина кодового слова, а k – число символов данных. Кодировщик берет символы данных k из s битов и добавляет символ четности, создавая таким образом кодовое слово длиной n . Получается $n-k$ символов четности в s битах. В целом максимальная длина кодового слова может быть посчитана по формуле $n = 2^s - 1$. Декодер Рида-Соломона может исправить до t символов, содержащих ошибки в кодовом слове, где $2t = n - k$. Использование кодирования Рида-Соломона может обеспечить улучшение характеристики линии связи, составляющее порядка 5 дБ.

6 Требования к доступности MetAids

Неготовность линии связи является главной причиной недоступности данных, так же как и отказ радиозонда или преждевременный разрыв воздушного шара, в результате чего может возникнуть необходимость повторного зондирования. Существует две основные причины снижения готовности линии радиосвязи – условия распространения и помехи.

В отличие от телекоммуникационных систем, для которых неготовность линии статистически распределена по всему времени функционирования, неготовность системы радиозондирования главным образом сосредоточена на последнем этапе измерений, когда радиозонд находится на наибольшей высоте над землей и его наклонная дальность от приемника обычно наибольшая.

На энергетический потенциал линии связи радиозонда наибольшее влияние оказывает расстояние между радиозондом и приемником, которое обычно увеличивается вместе с увеличением высоты. Снижение готовности линии связи радиозонда по любой причине (например, по причине помех) окажет сильное воздействие на измерения на больших высотах, являющиеся наиболее важной частью собранных данных (которые будут потеряны из-за отсутствия резервирования при передаче), и таким образом фактически ограничит дальность работы радиозондов.

С помощью систем радиозондирования производятся измерения *in situ* атмосферного давления, температуры и относительной влажности (PTU). Скорость и направление ветра определяются с использованием метода NAVAID или радиопеленгации (RDF), при которой измеряются азимут и угол подъема по отношению к приемной антенне.

Для радиозондов, работающих в полосе частот 1680 МГц, потеря сигнала более чем на 10 секунд скорее всего будет означать срыв слежения наземного приемного устройства. Потерянный радиозонд только в редких случаях может быть обнаружен снова, поэтому вся информация, полученная в полете, пропадает, даже если исчезают помехи. Радиоприемник будет отслеживать сигнал с наибольшей амплитудой в своей мгновенной ширине полосы частот.

6.1 Условия распространения

Рекомендация МСЭ-R P.528 касается кривых распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, использующих диапазоны ОВЧ, УВЧ и СВЧ. В частности, указанные в ней условия распространения в полосах частот 300 МГц и 1200 МГц достаточно хорошо сравнимы с результатами полевых испытаний, проводившихся соответственно в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц.

На приведенных ниже рисунках 1 и 2 представлены кривые, полученные путем экстраполяции кривых потерь при передаче, содержащихся в Рекомендации МСЭ-R P.528, применительно к радиозондам при следующих допущениях:

- доступность радиозонда 97% времени (формула из Рекомендации МСЭ-R P.618 была использована для экстраполяции с 95% времени, как установлено Рекомендацией МСЭ-R P.528);
- умеренно континентальный климат;
- максимальная длина наклонной траектории 300 км;
- сценарии высоты антенны А, С и Е, соответствующие высоте приемной антенны 15 м и высоте передающей антенны соответственно 1000, 10 000 и 20 000 м;
- дополнительное затухание 2,6 дБ и 2,9 дБ в полосах частот соответственно 403 МГц и 1680 МГц, для того чтобы учесть разницу в частотах по сравнению с частотами, указанными в Рекомендации МСЭ-R P.528.

РИСУНОК 1

Потери при передаче при доступности 97% времени в полосе частот 403 МГц

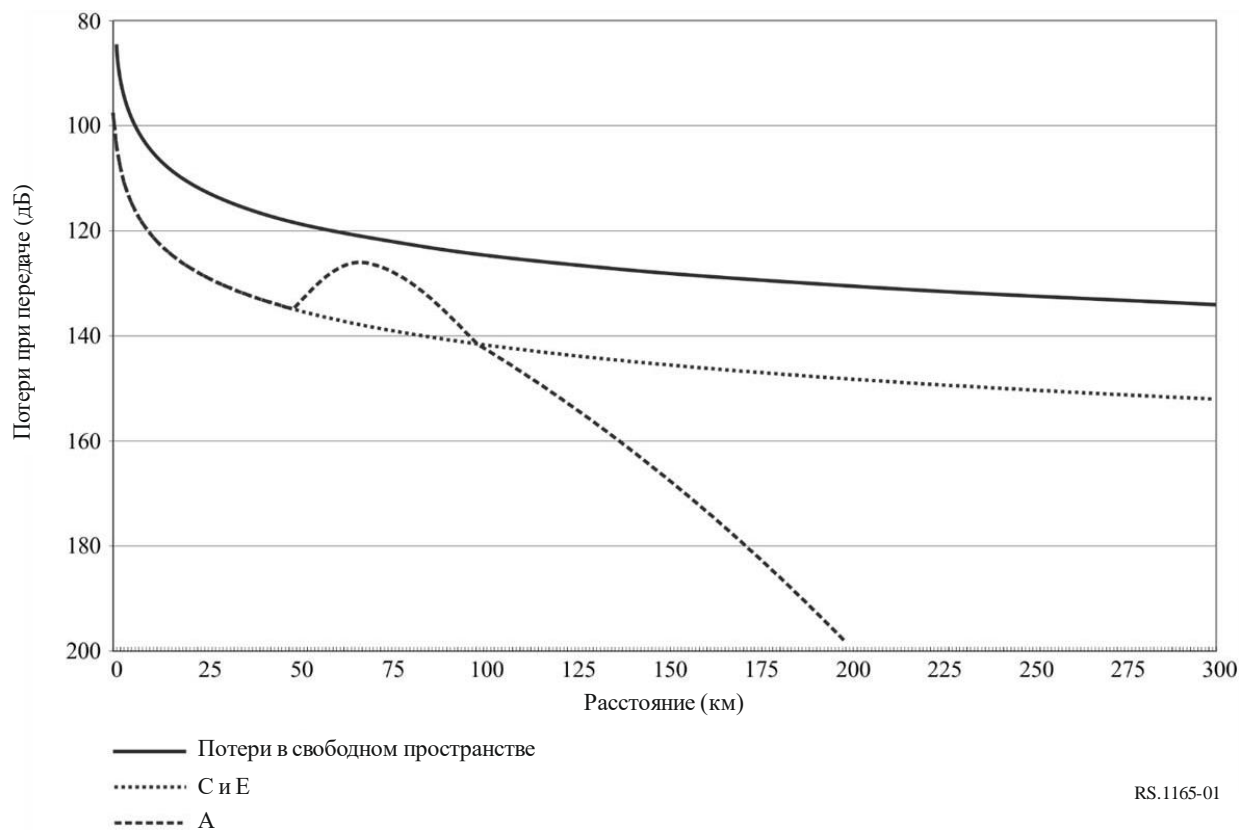
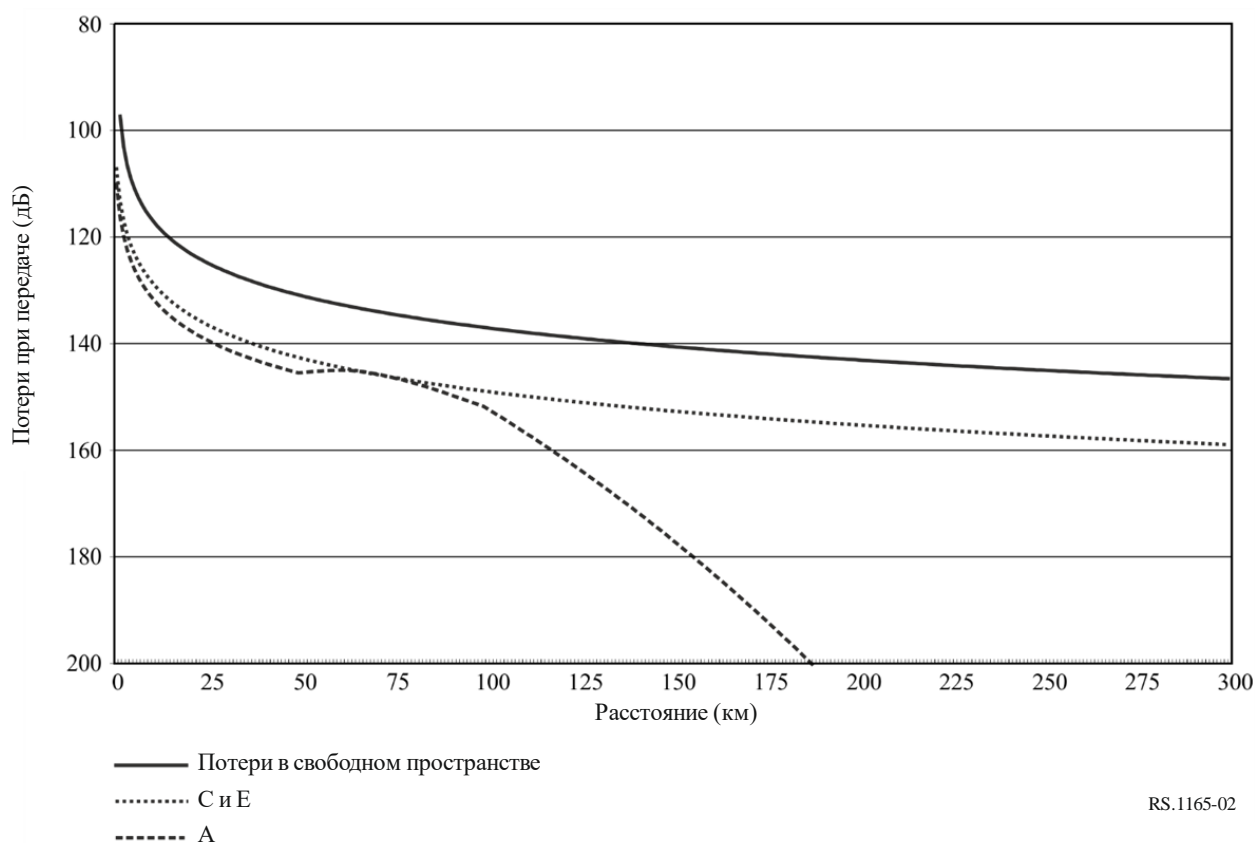


РИСУНОК 2

Потери при передаче при доступности 97% времени в полосе частот 1680 МГц



На рисунках видно, что кривые С и Е совпадают при любом расстоянии, на котором проводятся операции с радиозондом. Также видно, что для кривой А, соответствующей высоте радиозонда 1000 м, сходные потери при передаче наблюдаются вплоть до 50 км, при дальнейшем же увеличении расстояния видна заметная разница. Однако более чем вероятно, что при высоте 1000 м расстояние по наклонной траектории радиозонда не будет превышать 50 км. Это означает, что в обеих полосах частот кривые распространения радиоволн, относящиеся к указанной высоте радиозонда, будут сходными, так же как и кривая распространения для больших высот (синяя кривая).

На основании этого расположенные ниже рисунки 3 и 4 показывают необходимое для работы радиозонда допустимое искажение сигнала при доступности 95% времени, представляющее собой разницу между кривой потерь в свободном пространстве и кривой потерь при передаче.

РИСУНОК 3

Необходимое допустимое искажение сигнала при доступности 97% времени в полосе частот 403 МГц

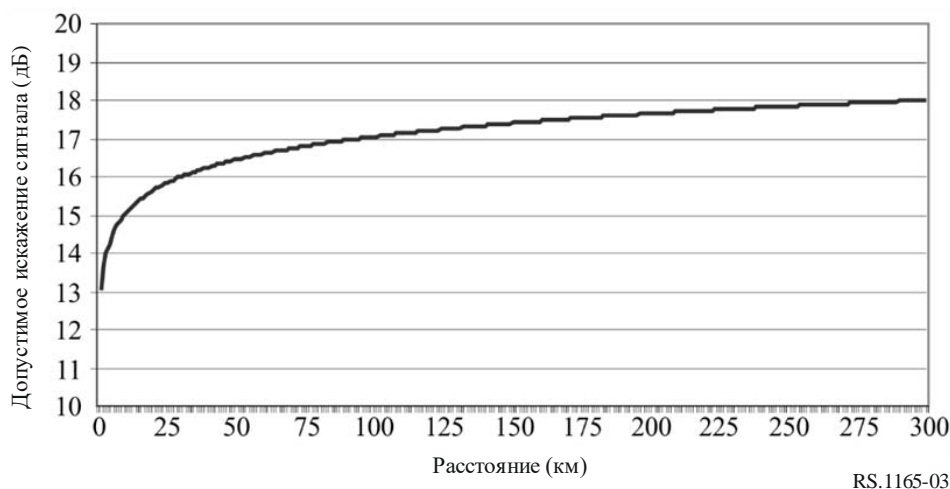
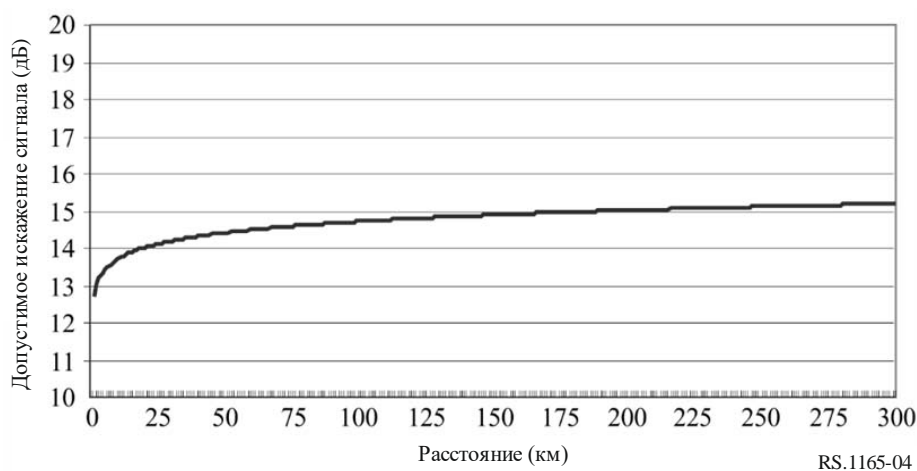


РИСУНОК 4

Необходимое допустимое искажение сигнала при доступности 97% времени в полосе частот 1680 МГц

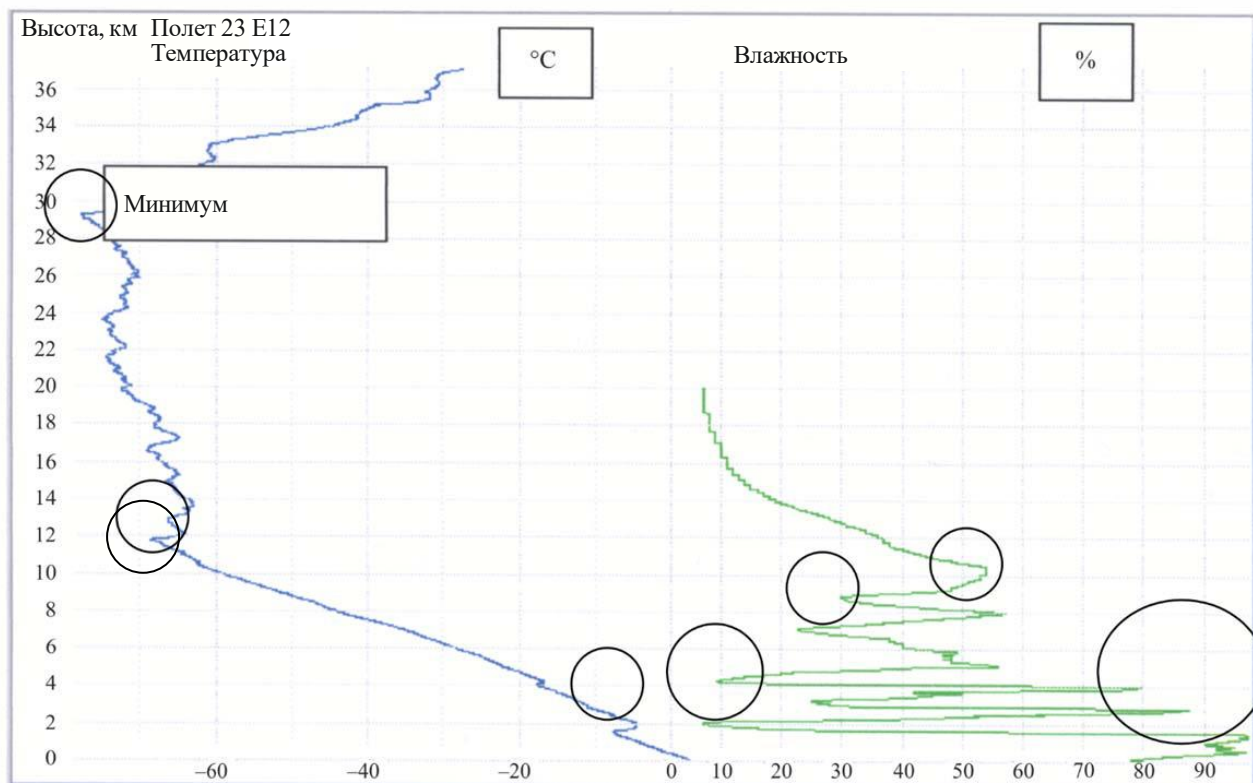


6.2 Наиболее важные периоды полета

В целом во всех полетах радиозондов существуют периоды времени, в течение которых полученные данные могут быть более ценными, чем данные, полученные в другие периоды. Но эти периоды не могут быть точно определены в терминах времени или высоты. Пример, показанный на рисунке 5, был взят из справочника ВМО/МСЭ "Использование радиочастотного спектра в метеорологии" (издание 2002 года). Он содержит полученные во время полета радиозонда графики температуры и влажности. Несмотря на то что получение данных важно в течение всего полета, потери данных в течение периодов резких изменений температуры, влажности или ветра (отмеченные окружностями на рисунке 5) могут оказать значительное влияние на возможности прогнозирования погоды, поскольку конкретная точка перехода не может быть точно определена. Реальной ценностью при исследовании помех будет обладать только полученный полностью профиль данных.

РИСУНОК 5

Пример графика полученных с помощью радиозонда профилей распределения температуры и влажности



RS.1165-05

6.3 Требования к доступности данных радиозонда, используемого для синоптических работ

Требования к доступности данных различаются даже в синоптических сетях. Хотя могут существовать и другие требования, установленные отдельными метеорологическими службами, для данной Рекомендации могут быть установлены следующие четыре категории. Первая категория включает все системы радиозондирования, работающие в полосе частот 403 МГц. В разделе 7 они представлены как системы А и В. Вторая категория охватывает новые цифровые радиозонды, работающие в полосе частот 403 МГц, которые представлены в разделе 7 как типы С–F, а третья категория – ранние системы радиозондирования, работающие в полосе частот 1680 МГц. Системы, подпадающие под эту категорию, представлены в разделе 7 как системы С и D. Последняя четвертая категория включает новые системы, развертываемые в полосе частот 1680 МГц. В разделе 7 под эту категорию подпадают системы G.

6.3.1 Системы радиозондирования, работающие в полосе частот 403 МГц

Требования к системам, работающим в полосе частот 403 МГц, немного отличаются.

Для аналоговых радиозондов, работающих в полосе частот 403 МГц, максимально допустимый период отсутствия данных о давлении, температуре, влажности и ветре равен 4 минутам. В течение таких периодов система обработки данных радиозонда будет автоматически заполнять пропущенные значения. Если данные отсутствуют более 4 минут, они считаются пропавшими и нигде больше не используются. Применительно к 120-минутным полетам эти 4 минуты отсутствия данных дают требуемую готовность линии 97%. Система также использует дополнительный критерий: если период отсутствия на земле данных РНСС о ветре превышает 30 минут, то может быть запланирован новый полет. Доступность данных важна на всех этапах полета. После исследования выборок данных, взятых из приблизительно 65 000 полетов, доступность данных о давлении, температуре, влажности и ветре равна 98,5%.

В случае применения цифровых радиозондов, работающих в полосе частот 403 МГц, требования к доступности данных следующие:

- потери данных во время запуска радиозонда (< 100 м) неприемлемы;
- для данных о скорости ветра:
 - на высоте от 100 м до 3 км над поверхностью доступность данных должна быть по меньшей мере 97%;
 - на высоте от 3 км и до конца полета доступность данных должна быть по меньшей мере 95%;
- доступность данных о давлении, температуре, влажности и ветре для 120 минут полета должна быть по меньшей мере 96%;
- кроме того, потери данных продолжительностью более 5 минут недопустимы.

В настоящее время подавляющее большинство соответствующих служб, работающих в полосе частот 403 МГц, перешло от использования старых аналоговых радиозондов к использованию новых цифровых моделей. Подводя итоги, можно отметить, что доступность данных для аналоговых и цифровых систем радиозондирования в полосе частот 403 МГц должна быть не менее 97%.

6.3.2 Ранние системы радиозондирования, работающие в полосе частот 1680 МГц

В таблице 2 перечислены предлагаемые требования к готовности линии связи с радиозондом применительно к ранним системам радиозондирования в полосе частот 1680 МГц. Для того чтобы полет считался успешным, должны быть соблюдены все ограничения в содержащем требования к потерям данных столбце. Приведенные цифры не складываются, каждое требование относится только к соответствующему промежутку времени. В дополнение к требованиям, изложенным в таблице 2, в любой точке полета периоды, в течение которых данные о давлении или температуре отсутствуют и/или непригодны для использования, могут длиться не более 3 минут подряд.

ТАБЛИЦА 2

Требования к рабочим характеристикам радиозондов, используемых в синоптических целях, применяемые в Северной Америке

Время полета (мин)	Максимальные потери данных, не превышающие 2% зондирований (на одно место за месяц) ¹⁾
0–120 (весь полет)	15 мин (12,5 %)
0–5	60 с (20%)
5–15	2 мин (20%)
15–30	3 мин (20%)
30–60	6 мин (20%)
60–120	12 мин (20%)

¹⁾ Зондирования, не удовлетворяющие требованию 2%, считаются неудачными полетами и, если неудача была зафиксирована в течение первых 30 минут полета, будут проведены повторно. Полеты, переставшие удовлетворять требованию уже после 30 минут полета, считаются неудачными.

Требования к доступности данных указаны для потерь данных, произошедших по любой причине (помехи, ошибка оператора, сбой в работе оборудования, сбой в работе радиозонда, ошибка в данных датчика). На последнем этапе полета (60–120 минут) потери данных могут составлять не более 20%. Кроме того, если полет не был завершен (длился менее 120 минут), он также считается неудачным. Многие факторы, включая помехи, могут сократить продолжительность полета. Помехи обычно становятся причиной сбоя настройки принимающей системы на требуемый сигнал. Если сигнал не получен в течение определенного времени (примерно 1 секунду или менее), автоматическая регулировка частоты (АРЧ) приемника перенастроит приемник на другой сигнал достаточной силы, чтобы синхронизировать приемник. В системах RDF проблема также усугубляется RDF-антенной, обладающей малой шириной луча и по этой причине теряющей движущийся радиозонд. Для этих систем потеря контроля над полетом может наступить при нарушении связи длительностью более 0,8 секунды.

6.3.3 Современные системы радиозондирования, работающие в полосе частот 1680 МГц

В последние годы у радиозондов, работающих в полосе частот 1680 МГц, появилось преимущество благодаря новым технологиям, улучшающим радиочастотные характеристики и эксплуатационные качества систем радиозондирования. Эти нововведения были необходимы, для того чтобы повысить точность и доступность данных и иметь возможность использовать их в более сложных прогностических моделях, чувствительных к значительным потерям данных. Один образец системы был разработан с учетом требования к доступности 98%. Испытания показали, что эта система удовлетворяет данному требованию. Так же как и в более ранних системах при оценке доступности учитываются все причины потерь данных. Максимально возможные 2% недоступности должны быть распределены между всеми источниками потерь данных, включая обрыв связи из-за затухания или помех.

В полосе частот 1680 МГц системы радиозондирования вводятся в действие с учетом других характеристик и требований к доступности данных. ВМО установила два дополнительных перечня требований, которые необходимо принимать во внимание.

Первый новый набор требований касается систем радиозондирования, состоящих из радиозондов типа F и приемных систем F. Требования к доступности данных сформулированы следующим образом.

- Для всех радиозондов суммарная продолжительность периодов потерь метеорологических данных не должна превышать 4 минут при длительности полета радиозонда 120 минут, скорости подъема 300 ± 50 м в минуту и расстоянии по наклонной траектории 250 км. Для полетов с продолжительностью менее 120 минут (сокращение могло произойти по причине взрыва воздушного шара или превышения допустимой дальности) допустимая суммарная потеря данных рассчитывается как отношение фактического времени полета к 120, умноженное на максимальную потерю данных, состоящую здесь из потерянных термодинамических данных или данных о скорости ветра, а также данных о местоположении радиозонда.
- Кроме того, что касается малых периодов потерь данных о давлении, температуре относительной влажности, положении GPS или скорости ветра, то их длительность не должна превышать 15 секунд на каждые 5 минут полета. В случае нарушения одного из этих требований полет считается неудачным.

Второй перечень требований был установлен ВМО относительно системы, не рассматриваемой в данной Рекомендации. Эта система чувствительна к потерям данных на начальной фазе подъема до 1 км (то есть ~200 секунд после старта), где угловая скорость движения радиозонда в условиях сильных ветров и неблагоприятной геометрии может быть слишком высокой для успешного слежения за зондом при наличии помех. В результате данные о ветре, полученные в пограничном слое, могут быть низкого качества или отсутствовать вовсе. На высоте больше 1 км отсутствие двух или более уровней стандартной изобарической поверхности (~10–15 минут) воспринимается как неприемлемая потеря данных и обработка данных прекращается. Промежутки в профилях более 20 гПа должны быть помечены как пропуски. Исходя из практического опыта в нормальных условиях уровень потерь данных незначителен как для телеметрии, так и для слежения.

Требование к доступности данных для современных систем радиозондирования в полосе частот 1680 МГц составляет 98%.

6.4 Краткое содержание требований к доступности данных

ТАБЛИЦА 3

Критерии эффективности функционирования систем, работающих в службе MetAids

Система	Расположение приемника	Максимальная дальность связи (км)	Минимальное отношение сигнал/шум системы (дБ)	Требование к доступности данных в течение всего полета (%)	Требование к доступности данных в малые периоды времени
Система радиозондирования RDF, работающая в полосе частот 1680 МГц	Наземное	250	12	87,5	См. п. 6.3.2
Система радиозондирования РНСС, работающая в полосе частот 1680 МГц	Наземное	250	12	97	15 с/5 мин (95%)
Цифровая система радиозондирования, работающая в полосе частот 403 МГц	Наземное	250	12	97	–
Цифровая система радиозондирования с поддержкой GPS, работающая в полосе частот 403 МГц	Наземное	250	12	97	–
Система радиозондирования NAVAIID, работающая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с высоким коэффициентом усиления	Наземное/ на судне	250	12	97	–
Система радиозондирования NAVAIID, работающая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с низким коэффициентом усиления	Наземное/ на судне	150	12	97	–
Система радиозондирования NAVAIID, работающая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с высоким коэффициентом усиления и цифровым приемником	Наземное/ на судне	250	7	97	–
Система радиозондирования NAVAIID, работающая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с низким коэффициентом усиления и цифровым приемником	Наземное/ на судне	250	7	97	–

7 Характеристики радиосвязи современных систем радиозондов

Системы радиозондирования состоят из радиозондовых передатчиков и наземных приемных станций, объединяющих приемник и антенну.

7.1 Характеристики передатчиков

Типовые характеристики используемых в настоящее время передающих систем в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц представлены в таблицах 4 и 5.

ТАБЛИЦА 4

Характеристики радиосвязи радиозондовых передатчиков в полосе частот 403 МГц

Параметр	Тип А (аналоговый)	Тип В (цифровой)	Тип С (цифровой)	Тип D (цифровой)	Тип E (цифровой)
Диапазон настройки (МГц)	400,15–406	400,15–406	400,15–406	400,15–405,9900	400,25–405,875
Максимальный уход в полете (кГц)	±800	±20	±2	±3	±5
Номинальная выходная мощность (дБм)	+24,0	+24,0	+ 18,5	20	18,5
Максимальное усиление антенны (дБи)	2	2	2	3	2
Тип излучения МСЭ-R	F9D	F7D	F1D	F2D	F1D
Модуляция	ЧМ	GMSK	GFSK	QAM	FSK
Ширина занимаемой полосы частот (кГц) (уровень –40 дБн)	200	61	27,6	15	28
Внеполосное излучение (дБн)	< –43	< –48	< 49	< –37	< –48,5

ТАБЛИЦА 5

Характеристики радиосвязи радиозондовых передатчиков в полосе частот 1680 МГц

Параметр	Тип G (аналоговый)	Тип H (аналоговый)	Тип I (цифровой)
Диапазон настройки (МГц)	1 668,4–1 700	1 668,4–1 700	1 675–1 683
Максимальный уход в полете (кГц)	±4	±4	±1
Номинальная выходная мощность (дБм)	+24,0	+24,0	+23,8
Максимальное усиление антенны (дБи)	2,0	2,0	2,0
Минимальное усиление антенны (дБи)	< –10	< –10	–4
Модуляция	АМ, 100%	ЧМ	FSK
Модулирующий сигнал РТУ (кГц)	0,7–1,0	7–10	Отсутствует
Отклонение (кГц)	Неприменимо	45 ± 15	< 50
Определение параметров ветра	Обнаружение углов приема	Обнаружение углов приема	GPS
Ширина занимаемой полосы частот	–40 дБн: 0,5 МГц – 50 дБн: 1,0 МГц	180 кГц	120 кГц
Скорость передачи информации (бит/с)	1 200	1 200	2 400
Внеполосное излучение (дБн)	< –43	< –43	< –48

7.2 Приемные системы

7.2.1 Полоса частот 403 МГц

Типовые характеристики используемых в настоящее время приемников в полосе частот 403 МГц представлены в таблице 6, а типовые характеристики приемных антенн для полосы частот 403 МГц – в таблице 7.

ТАБЛИЦА 6

Характеристики приемников, работающих в полосе частот 403 МГц

Параметр	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E
Тип	Аналоговая	Цифровая	Цифровая	Цифровая	Цифровая
Частотный диапазон (МГц)	400,15–406	400,15–406	400–406	400,15–405,99	400,25–405,875
Модуляция	ЧМ	GMSK	GFSK	QAM	FSK
Чувствительность (дБм для требуемого отношения сигнал/шум или E_b/N_0)	-104	-124	-122	-121	-119
Требуемое отношение сигнал/шум	12 ²⁾	12	12 ²⁾	12	12 ²⁾
Ширина полосы пропускания по промежуточной частоте (кГц)	300	6	11	17	18,8
Типы радиозондов	A	B	C	D	E
Тип приемной антенны ¹⁾	Антенна 2	Антенна 3	Антенна 2	Антенна 3	Антенна 4

¹⁾ См. таблицу 7.

²⁾ 12 дБ – для коэффициента потери данных 0,2; 7 дБ – для коэффициента потери слежения 0,02.

ТАБЛИЦА 7

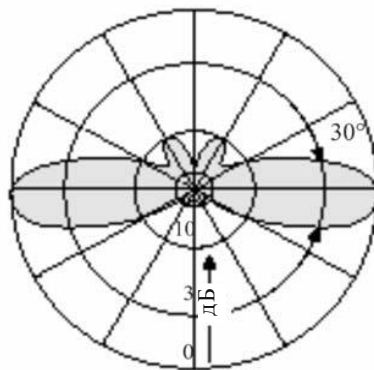
Характеристики приемных антенн, работающих в полосе частот 403 МГц

	Антенна 1	Антенна 2	Антенна 3	Антенна 4
Тип	Всенаправленная (дипольная, ground plane)	Направленный углоковый отражатель, шесть углов	Всенаправленная (диполь)	Управляемая директорная антенна
Частотный диапазон (МГц)	397–409	400–406	400–406	400–406
Усиление в главном луче (дБ)	Всенаправленное	8	2,15	11
Коэффициент шума усилителя (дБ)	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 4,0
Коэффициент усиления усилителя (дБ)	13	20	20	38
Вносимые потери полосового фильтра (дБ)	Отсутствует	0,5	0,5	0,5
Ширина полосы пропускания полосового фильтра (МГц)	Отсутствует	400–406	400–406	400–406

Антенны 1 и 3 являются всенаправленными в горизонтальной плоскости, поэтому для отслеживания сигнала радиозонда не требуется никаких передвижений антенны или переключения элементов. Антенна 2 представляет собой массив, состоящий из шести уголковых отражателей и дипольной антенны. Уголковые отражатели и дипольная антенна переключаются с помощью диодного переключателя, поэтому к приемнику подключен наиболее подходящий для оптимального приема элемент. Антенна 4 – это директорная антенна (антенна Яги), установленная на управляемой мачте для отслеживания азимута антенны. Для антенны 4 угол места главного лепестка составляет приблизительно 20° .

РИСУНОК 6

Диаграмма направленности антенны 3

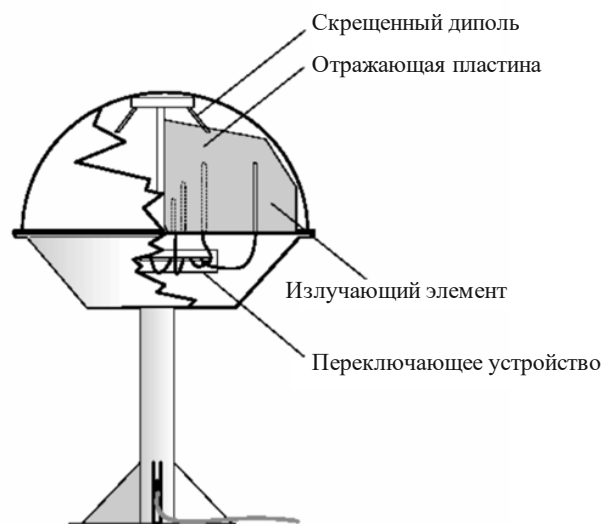


ДНА в вертикальной плоскости

RS.1165-06

РИСУНОК 7

Схема антенны 2



RS.1165-07

РИСУНОК 8

Диаграмма направленности антенны 2 (плоскость Н, угол 12°)

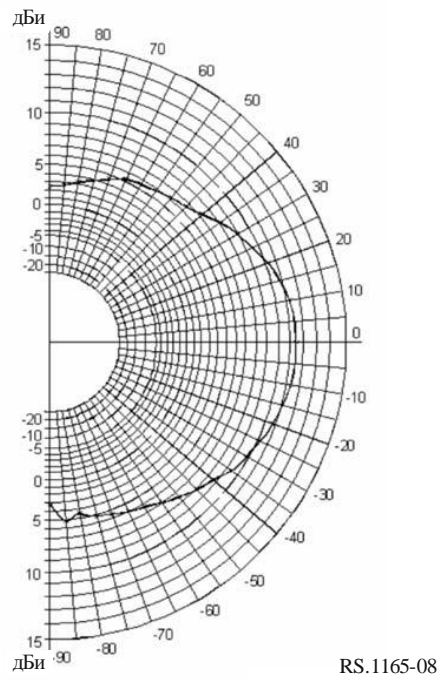
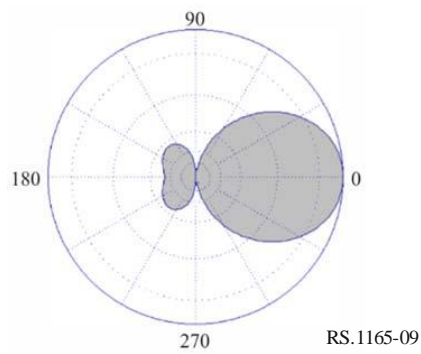


РИСУНОК 9

Диаграмма направленности антенны 4



7.2.2 Полоса частот 1680 МГц

Типовые характеристики используемых в настоящее время приемных систем в полосе частот 1680 МГц представлены в таблице 8.

ТАБЛИЦА 8

Характеристики антенны и приемной системы, работающих в полосе частот 1680 МГц

	Система G	Система H	Система I
Тип	Фазированная AP	Коническое сканирование	Коническое сканирование ¹⁾
Частотный диапазон (МГц)	1 668,4–1 700	1 668,4–1 700	1 668,4–1 700
Ширина луча по уровню 3 дБ (градусы) (горизонтальная)	20	8,8	8,0
	(вертикальная)	15	8,0
Усиление (дБи)	16	28	26
Отклонение бокового лепестка (дБ)	> 20 в направлении зеркального отражения от земли на плоской поверхности и подъеме > 14°	15 при ±60° от оси сканирования	> 20
Чувствительность (дБм) для отношения сигнал/шум 12 дБ	-110	-97	-106,8
Автоматическая регулировка усиления (дБ)	110		123
Ширина полосы пропускания по ПЧ, величина RTU (кГц)	300	180	150
	– Следящий прием (МГц)	Неприменимо	1,3
Используется со следующими типами радиозондов	G	DH	I

¹⁾ В системе не используется реальное коническое сканирование, когда вращающийся отражатель в рупорном облучателе вращает основной лепесток вокруг центральной оси антенны. Данная система имеет четыре отдельных элемента в рупорном облучателе, которые формируют четыре отдельных лепестка в верхнем, нижнем, левом и правом направлениях для сравнения уровня сигнала и слежения.

8 Характеристики радиосвязи систем сбрасываемых радиозондов

Сбрасываемый радиозонд представляет собой контейнер, содержащий метеорологические датчики, который поднимается на требуемую высоту с помощью авиации и сбрасывается с парашютом для формирования атмосферного профиля. Хотя они могут использоваться и над поверхностью земли, обычно их запускают над теми областями океана, где работа с радиозондовой установкой невозможна. Сбрасываемые радиозонды широко используются для наблюдений в условиях тропических штормов, ураганов и тайфунов, поскольку авиация может сбрасывать их в ключевых точках на пути следования шторма. Сбрасываемые радиозонды передают данные датчиков приемнику, находящемуся на борту самолета. Самолет может одновременно принимать данные с нескольких (до восьми) сбрасываемых радиозондов, но для этого требуется использование многоканальной приемной системы.

Радиозонды, сброшенные с самолета, пролетают сквозь атмосферу очень быстро, спускаясь на парашюте. Даже короткие периоды отсутствия данных могут привести к большим потерям данных на значительных участках атмосферы. Несмотря на то что все данные, собираемые во время снижения, очень важны, в некоторых приложениях особое внимание уделяется данным, снятым на последней измерительной точке – перед тем как зонд коснется поверхности. Последняя точка, на которой проводятся измерения, отражает условия на поверхности, необходимые для метеорологических приложений.

8.1 Практика эксплуатации сбрасываемых радиозондов

Сбрасываемые радиозонды запускаются с различных высот от 3000 до 21 400 м. Слежение за ними производится до тех пор, пока они не коснутся поверхности Земли. Самолет, с которого производится запуск радиозондов, может осуществлять слежение и получать данные от восьми зондов одновременно. Это позволяет самолету пролететь по определенной траектории через шторм, сбрасывая радиозонды и получая данные из ключевых точек внутри него. В сбрасываемых радиозондах используется приемник РНСС для определения параметров ветра. Данные с месторасположения сброшенного радиозонда объединяются и передаются вместе с данными об измеренном давлении, температуре и влажности.

Наиболее частое применение сбрасываемые радиозонды находят при проведении наблюдений в условиях тропических штормов, ураганов и тайфунов. Сбрасываемые радиозонды позволяют получать профили атмосферы внутри больших штормов, пока те еще находятся далеко от земли. Эти данные очень важны для слежения за силой шторма, прогнозирования его будущей силы и пути.

Сбрасываемые радиозонды также повсеместно используются для проведения метеорологических и климатологических исследований как над океанами, так и над сушей. Эти зонды позволяют производить запуски контейнеров, содержащих датчики, с высокой плотностью в районах, где запуски со станций радиозондирования невозможны. Их использование также позволяет производить быструю перестройку сети в ответ на изменения условий, на которые наземные станции радиозондирования быстро отреагировать не могут.

8.2 Характеристики систем сбрасываемых радиозондов

Сбрасываемые радиозонды разработаны для использования с приемником, расположенным на борту самолета. Высокоточные антенны, необходимые для работ в полосе частот 1680 МГц, непрактичны. Сбрасываемые радиозонды разработаны для оперирования в полосе частот 403 МГц, распределенной MetAids, которая пригодна для использования всенаправленных антенн. В таблицах 9 и 10 приведены типовые характеристики передатчиков и приемников сбрасываемых радиозондов, соответственно.

ТАБЛИЦА 9

Характеристики передатчиков сбрасываемых радиозондов

Параметр	Тип 1
Частотный диапазон	400,15–406 МГц
Выходная мощность передатчика	21 дБм
Тип антенны	Несимметричный вертикальный вибратор
Усиление антенны	+2 дБи на горизонте
	–10 дБи в зените и надире
Модуляция	FM (640 BPS FSK и 1 200 BPS AFSK)
Ширина спектра излучения	15 кГц
Эксплуатационная высота	От поверхности до 21 400 м

ТАБЛИЦА 10

Характеристики приемников сбрасываемых радиозондов

Параметр	Тип 1
Частотный диапазон (многоканальный)	400,15–406 МГц (многоканальный)
Количество каналов приемника	8
Чувствительность приемника (при отношении сигнал/шум 12 дБ)	–121 дБм
Минимальное для приема данных отношение сигнал/шум	12 дБ
Ширина полосы пропускания по промежуточной частоте (3 дБ)	18 кГц
Тип антенны	Всенаправленное лезвие
Эксплуатационная высота	От поверхности до 21 400 м

8.3 Планы совершенствования сбрасываемых радиозондов в будущем

В настоящее время рассматриваются некоторые адаптационные изменения используемых в настоящее время сбрасываемых радиозондов для их более передового применения. Появится возможность сбора дополнительных данных, а также данных из тех районов, наблюдения в которых на данный момент затруднительны.

Первая модификация, запланированная на будущее, позволит сбрасываемому радиозонду выполнять функцию самолетного сбрасываемого батитермографа (АХВТ) после падения его в океан. В дополнение к профилю состояния атмосферы сбрасываемый радиозонд АХВТ также будет передавать данные о состоянии океана, обеспечивая прогнозистов дополнительными сведениями, которые можно будет использовать в прогностических моделях.

Также решается вопрос о том, в каких ситуациях сбрасываемые радиозонды будут подниматься в воздух с помощью переносимых ветром воздушных шаров, а в каких – управляемыми автоматикой воздушными средствами передвижения. Такие системы позволят проводить рутинный сбор данных в тех областях над океаном, где он редок или невозможен на данный момент.

9 Характеристики радиосвязи систем ракетных радиозондов

Ракетные радиозонды используются космическими агентствами и другими пользователями, чьи требования к данным не могут быть удовлетворены при помощи радиозондов или сбрасываемых радиозондов. Сбор атмосферных данных системами ракетных радиозондов, так же как и сбрасываемыми радиозондами, производится по мере их спуска в атмосфере. Вместо того чтобы подниматься в воздух с помощью авиации, как это происходит со сбрасываемыми радиозондами, ракетные зонды быстро поднимаются в атмосферу небольшой ракетой, использующей твердое топливо. Данные же собираются зондом по мере его спуска на землю с помощью парашюта.

9.1 Практика эксплуатации ракетных радиозондов

Ракетные зонды поднимаются в воздух для проведения атмосферных измерений с помощью небольшой ракеты, использующей твердое топливо. Системы ракетных радиозондов используются как на малых, так и на больших высотах. Использование ракетных зондов не слишком распространено, но они необходимы в тех случаях, когда только их уникальные возможности сбора данных могут удовлетворить предъявляемые требования к данным.

Версия, используемая для малых высот, используется для быстрой доставки измерительной аппаратуры на высоту, равную примерно 1000 м, для измерения показателей в пограничном слое. В этой системе измерительная аппаратура выбрасывается из тела ракеты в наивысшей точке.

Версия для больших высот используется для подъема измерительной аппаратуры на высоты (более 32 км), которые не могут быть достигнуты радиозондами, поднимаемыми с помощью воздушных шаров. После запуска ракетный двигатель быстро выгорает на небольшой (~2000 м) высоте и отделяется от ракеты, которая доносит полезный груз до апогея (от 73 до 125 км). Там груз выбрасывается из ракеты и спускается в атмосфере с помощью парашюта. В дополнение к передаче метеорологических данных с ракетного радиозонда парашют, выполненный из алюминированного майлара, позволяет радару выполнять слежение по отраженному сигналу для измерения параметров ветра. Период времени от начала функционирования в апогее до прекращения передачи данных на высоте 14 км примерно равен 100 минутам. Слежение по отраженному сигналу производится в полосе частот радиоопределения, а не в полосе частот, распределенной MetAids.

9.2 Характеристики систем ракетных радиозондов

Системы ракетных радиозондов работают в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц. Расположенные ниже таблицы содержат характеристики данных систем. В таблице 11 приведены характеристики передатчиков ракетных радиозондов, работающих в полосе частот 403 МГц, а в таблице 12 – характеристики передатчиков ракетных радиозондов, работающих в полосе 1680 МГц.

ТАБЛИЦА 11

Передатчики ракетных радиозондов для малых высот, работающие в полосе частот 403 МГц

Параметр	Тип 1
Диапазон настройки (МГц)	400,15–406
Мощность передатчика (дБм)	15,0
Модуляция	GFSK
Максимальная высота (относительно места запуска) (м)	~1 000
Максимальная дальность (км)	20

Характеристики приемных систем, используемых для приема сигнала от систем, работающих в полосе частот 403 МГц, содержатся в таблице 6, в столбце "Система В". Характеристики антенн, используемых с ракетными зондами, работающими в полосе частот 403 МГц, приведены в столбце "Антенна 1" в таблице 7.

ТАБЛИЦА 12

Передатчики ракетных радиозондов, работающие в полосе частот 1680 МГц

Параметр	Тип 1
Диапазон настройки (МГц)	1 680–1 684
Мощность передатчика (дБм)	26,5
Модуляция	FM
Максимальная высота (относительно места запуска) (км)	82

В таблице 13 приведены характеристики приемных систем, работающих с ракетными зондами в полосе частот 1680 МГц.

ТАБЛИЦА 13

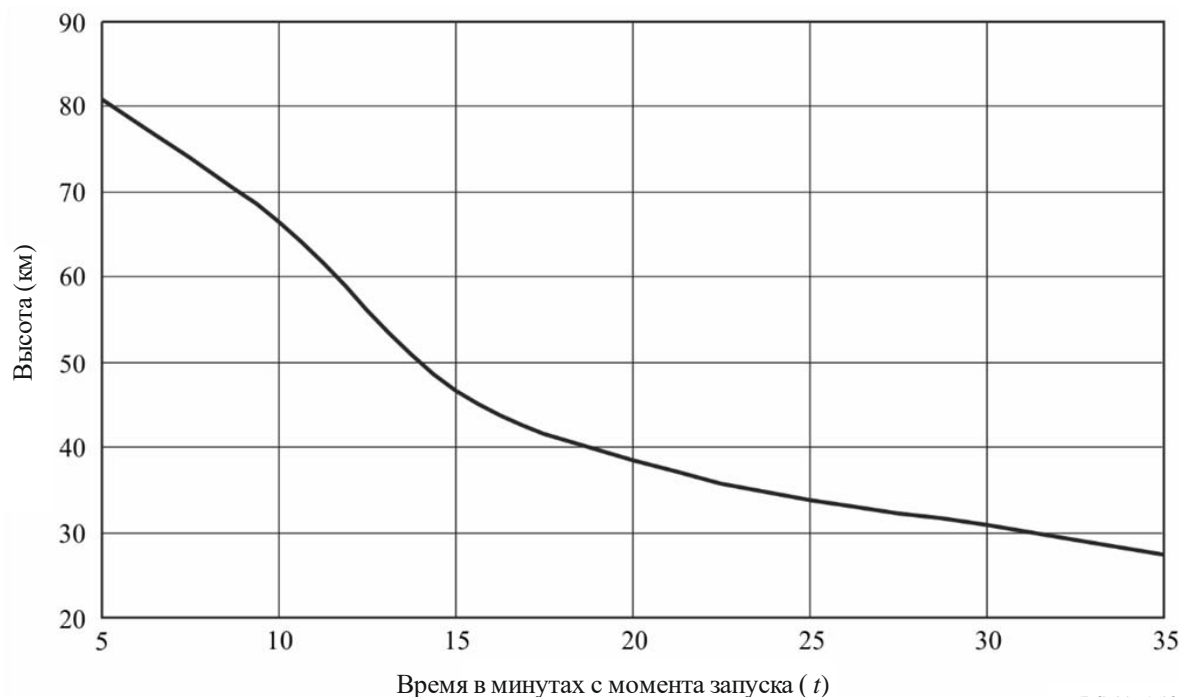
Антенны/приемные системы ракетных радиозондов, работающие в полосе частот 1680 МГц

Параметр	Тип 1
Диапазон настройки (МГц)	1 660–1 700
Ширина луча антенны (градусы)	5,4
Усиление антенны (дБи)	29
Поляризация антенны	Круговая поляризация правого вращения
Диапазон подъема (градусы)	От –5 до 95
Коэффициент шума приемника (дБ)	6,4
Модуляция	АМ и FM
Максимальная дальность (км)	300

9.3 Профиль снижения ракетного радиозонда

Профиль снижения ракетного радиозонда нелинейный. Он может оказаться очень важным при выполнении расчетов или проведении имитационного моделирования в целях определения совместимости с другими службами радиосвязи. Рисунки 10 и 11 содержат образцы профилей запуска/снижения ракетного зонда для больших высот.

РИСУНОК 10

Профиль снижения ракетного зонда для больших высот (зависимость высоты от времени)

RS.1165-10

РИСУНОК 11

Профиль снижения ракетного зонда для больших высот (зависимость скорости снижения от высоты)

