

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.1165-2

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

(1995-1997-2006)

Сфера применения

В данной Рекомендации даны технические характеристики и критерии эффективности функционирования для систем во вспомогательной службе метеорологии в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц.

Охватываются все возможные системы MetAids: радиозонды, сбрасываемые радиозонды и ракетные зонды.

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 полоса частот 403 МГц) и 1668,4–1700 МГц (называемой полоса частот 1680 МГц) с ограничениями согласно положению № 5.379E Регламента радиосвязи (РР);
- f) что полеты радиозондов, используемых в службе MetAids, осуществляются с помощью воздушных шаров или ракет и могут управляться станциями, расположенными на земле или на кораблях;
- g) что другие типы радиозондов, используемых в службе MetAids, сбрасываются с самолетов и управляются станциями, расположенными на самолетах;
- h) что требуемые рабочие характеристики передач радиозондам и от радиозондов должны согласоваться с сопутствующими функциональными требованиями и ограничениями эксплуатации, связанными как с системами, так и с полосами частот, в которых требования будут удовлетворяться;
- j) 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;
- k) что требуемые рабочие характеристики для конкретных систем могут быть определены с использованием методологии, сходной с методологией, описанной в Рекомендации МСЭ-R SA.1021;

l) что требуемые рабочие характеристики являются необходимым условием для определения помеховых критериев;

m) что Рекомендация МСЭ-R RS.1263 содержит критерии помех для систем во вспомогательной службе метеорологии, работающих в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц,

рекомендует

1 считать технические и эксплуатационные характеристики, изложенные в Приложении 1, типовыми для систем во вспомогательной службе 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

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 (давление, температура, относительная влажность, скорость и направление 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 телесвязи (ГСТ) 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, радарными профилями 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, сделанных 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 изменениями климата

В последние 20 лет произошли серьезные изменения температуры воздуха и озонового слоя по всему миру, самые заметные из них наблюдаются на высоте от 12 до 30 км над уровнем моря. Изменения настолько серьезны, что заставляют задуматься о здоровье человечества в будущем. 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 климата 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 корабля, 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 0000 и 1200 UTC, но в действительности время запуска меняется в зависимости от национальной практики и, в некоторых случаях, может быть, 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 0600 и 1800 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 900. Около 800 000 радиозондов в год регулярно запускаются в сотрудничестве с сетью ВМО, и предполагается, что еще около 400 000 радиозондов используются в оборонных целях или предназначены для другого специализированного применения. Текущий уровень использования радиозондов не удовлетворяет в достаточной мере метеорологическим требованиям по причине эксплуатационных расходов.

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 света. Системы, работающие в полосе частот 1680 МГц, функционируют прежде всего в Соединенных Штатах Америки, Японии и Китае. Эти системы передают синоптические данные ГСТ ВМО. В указанных странах иные пользователи используют главным образом полосу частот 403 МГц 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. Ожидается, что страны, использующие полосу частот 1780 МГц, перенесут эти работы в одну из двух основных полос частот, чтобы иметь возможность воспользоваться имеющимся на рынке оборудованием.

ТАБЛИЦА 1

Сводка использования радиочастот при работе с радиозондами в ежедневных синоптических работах

Регион	Общее количество установок	Количество установок, работающих в полосе частот 403 МГц	Количество установок, работающих в полосе частот 1680 МГц	Количество установок, работающих в полосе частот 1780 МГц ⁽¹⁾
Европа и Западная Россия	184	122	12	50
Азия и Восточная Россия	370	139	127	104
Африка	74	65	9	0
Северная Америка	166	55	109	2
Южная Америка и Антарктика	74	63	7	4
Австралия и Океания	100	73	27	0
Системы, установленные на судах	36	36	0	0
Общее количество	1 004	553	291	160

(1) 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. Большая их часть на данный момент аналоговые, но в будущем ожидается их замена на цифровые.

Для большинства цифровых радиозондов, используемых в Европе, разработаны согласованные европейские стандарты, включающие в себя 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

В Соединенных Штатах Америки полоса частот 1680 МГц на данный момент в основном используется гражданской службой погоды. Другие пользователи США пользуются полосой частот 403 МГц. Несмотря на то, что распределенным является диапазон частот 1668,4–1700 МГц, гражданская служба погоды функционирует в полосе частот 1675–1683 МГц во избежание несовместимости с другими службами в полосах частот 1668,4–1675 МГц и 1683–1700 МГц. У гражданской службы погоды имеется несколько установок, работающих в полосе частот 403 МГц, в тех местах, где связь с наземной станцией MetSat затруднена из-за помех или установка параболических антенн слежения не является оправданной.

Недавнее исследование использования радиозондов, работающих в полосе частот 403 МГц, в США подтвердило, что значительное число установок используются другими пользователями в несиноптических целях. Как минимум еще 40 установок используются университетами или другими организациями США. Некоторые из этих установок располагаются группами на расстоянии по горизонтали меньшем чем 250 км в качестве поддержки долгосрочных исследований национальных научных центров.

4 Эксплуатационные требования

Помимо точности, основными свойствами, которыми должен обладать проектируемый радиозонд, являются надежность, прочность, малый вес, небольшие размеры и низкая потребляемая мощность. 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, максимально возможно 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 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. Кроме того, помимо синоптических наблюдений, та же полоса частот используется и для метеорологического наблюдения, наблюдения за состоянием окружающей среды, научных исследований и оборонных мероприятий. 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 MetAids 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 света 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 ветра 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 гораздо более сильные ветра в среднем 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 ветра 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 MetAids 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, использование систем, основанных на NAVAID и работающих в полосе частот 403 МГц, необходимо для точных измерений ветра в подобных неблагоприятных условиях, даже при возможно высокой цене глобальных систем определения местоположения (GPS).

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 Лоран-С), для того чтобы MetAids получили возможность работать в полосе частот 403 МГц с целью 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 производимые сейчас радиозонды GPS также могут работать и в полосе частот 1680 МГц.

Эти радиозонды имеют преимущества, которыми ранее обладали только радиозонды, основанные на NAVAID, работающие в полосе частот 403 МГц. Использование традиционных наземных систем NAVAID, таких как ЛОРАН-С, было прекращено в 1997–2001 годах практически во всем мире. В будущем, возможно, некоторые страны, которые в настоящий момент используют системы, функционирующие в полосе частот 403 МГц, могут вернуться к использованию радиотеодолитов в полосе частот 1680 МГц, если стоимость радиозондов GPS будет значительно выше стоимости использовавшихся ранее радиозондов NAVAID. Продолжение использования радиозондов ЛОРАН-С может быть возможным в тех частях света, где еще будут использоваться ЛОРАН-С.

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 статьёй расходов являются расходы на радиозонды. Поскольку метеорологические данные должны быть глобальными, некоторые развитые страны бесплатно поставляют системы и части радиозондов некоторым развивающимся странам с целью 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 желательно в странах, где возникновение проблем, связанных с сильным ветром маловероятно, и/или возникает беспокойство по поводу стоимости использования новых радиозондов, основанных на GPS в полосе частот MetAids 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 они могут быть недоступными во время чрезвычайных ситуаций. В подобных случаях вполне оправдано 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.

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) определяется уход радиочастоты не более чем ± 20 кГц при занятой ширине полосы 200 кГц.

В странах Западной Европы, где наблюдается высокая плотность сети, в последние десять лет приходилось использовать в стандартных операциях передатчики с кварцевой стабилизацией частоты или специально подобранные стабильные передатчики.

В некоторых странах из-за более низкой по сравнению с GPS стоимости продолжается использование ЛОРАН-С в качестве способа определения параметров ветра. Работа в условиях высокой плотности сети (т. е. на расстояниях 100 км) осложняется из-за широкой полосы пропускания радиозондов ЛОРАН-С.

ВМО стимулирует переход других регионов мира, использующих для определения параметров ветра широкополосные радары, на системы с более узкой полосой пропускания 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 транзитеров 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 может быть повышена при использовании меньшей мощности передатчика настолько долго, насколько может поддерживаться доступность данных. Улучшить такую характеристику, как коэффициент ошибок по битам (BER), можно используя упреждающую коррекцию 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, мобильная и спутниковая связь. Код коррекции ошибочных битов улучшает телеметрическую линию.

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 равенства, создавая, таким образом, кодовое слово длиной n . Получается $n-k$ символов равенства 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 $2t = n - k$. При использовании кодирования Рида-Соломона можно улучшить характеристику линии связи 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, что в результате может вызвать 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 принимающего 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 (1,3 МГц).

6.1 Условия распространения

Рекомендация МСЭ-R P.528 содержит "характеристики распространения для воздушной подвижной службы и радионавигационной службы, 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.

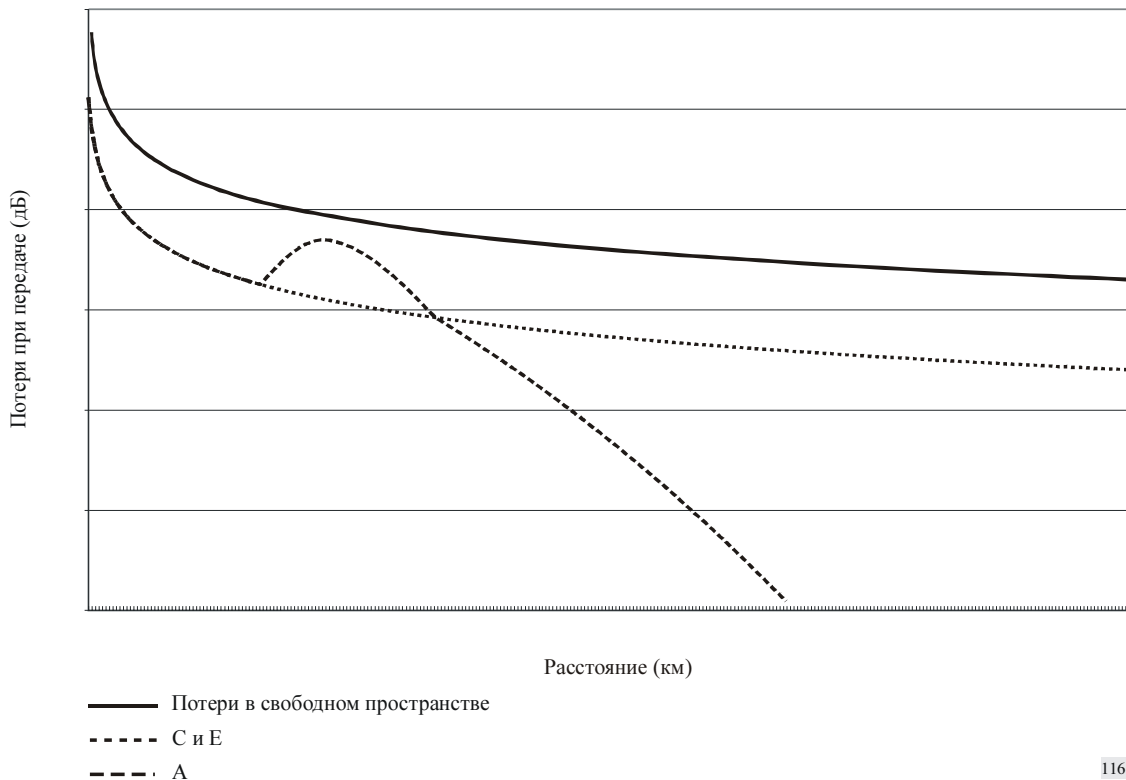
На расположенных ниже рисунках отражены графики экстраполяции потерь при передаче, содержащиеся в Рекомендации МСЭ-R P.528, применительно к радиозондам при следующих условиях:

- 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 принять в расчет 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



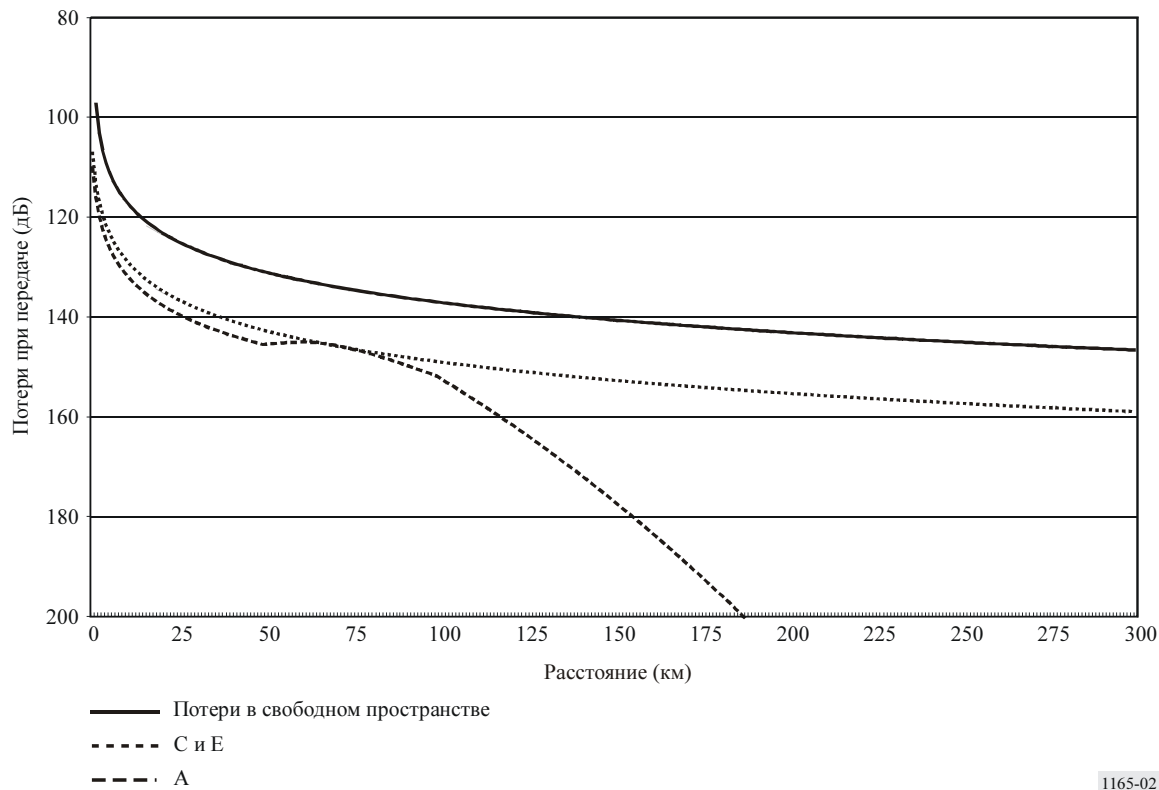
На рисунках видно, что кривые С и Е совпадают при любом расстоянии, на котором проводятся операции с радиозондом. Также видно, что для кривой А, соответствующей высоте радиозонда 1000 м, сходные потери при передаче наблюдаются вплоть до 50 км, при дальнейшем же увеличении расстояния видна заметная разница. 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 графики распространения, относящиеся к указанной высоте радиозонда, будут сходными, так же как и графики распространения для больших высот (синий график).

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

6.2 Наиболее важные периоды полета

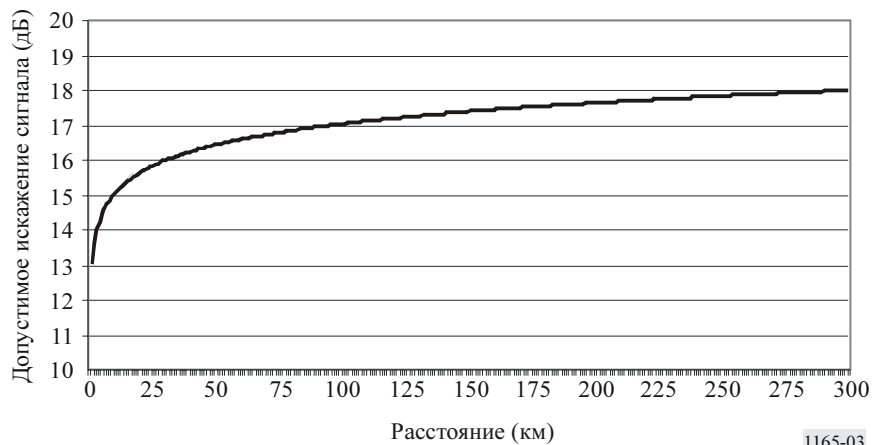
В целом во всех полетах радиозондов существуют периоды времени, полученные в течение которых данные могут быть более ценными, чем данные, полученные в другие периоды. Но эти периоды не могут быть точно определены в терминах времени или высоты. Пример, показанный на рисунке 5, был взят из Справочника ВМО/МСЭ "Использование спектра радиочастот в метеорологии" (выпуск 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 2
Потери при передаче при доступности 97% времени в полосе частот 1680 МГц



1165-02

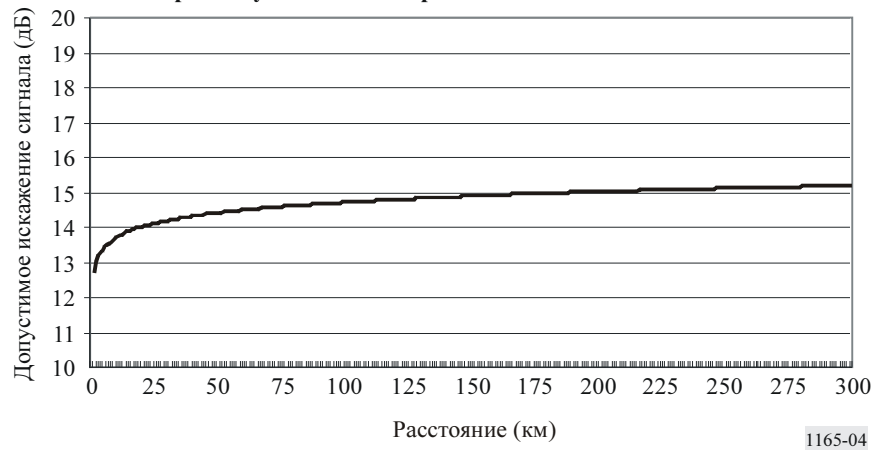
РИСУНОК 3
Необходимое допустимое искажение сигнала при доступности 97% времени в полосе частот 403 МГц



1165-03

РИСУНОК 4

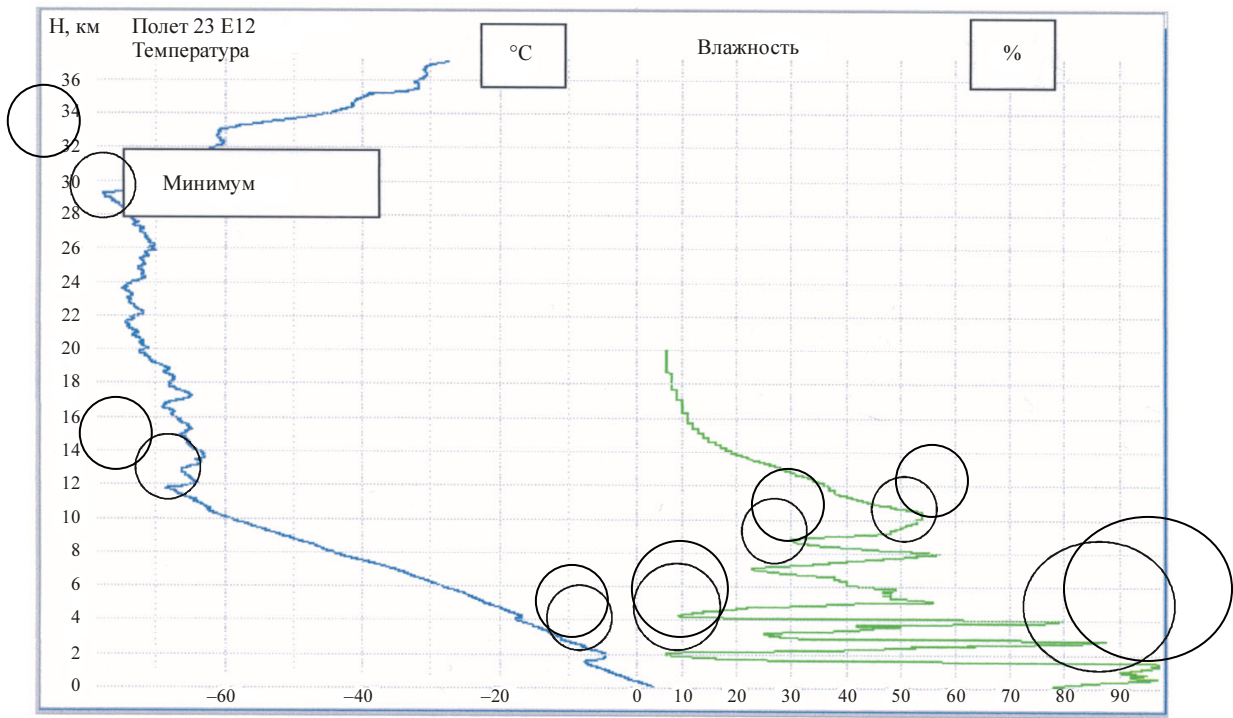
Необходимое допустимое искажение сигнала
при доступности 97% времени в полосе частот 1680 МГц



1165-04

РИСУНОК 5

Пример графика полученных с помощью радиозонда профилей распределения температуры и влажности



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 в областях, где функционируют отдельные метеорологические службы, для данной рекомендации могут быть установлены следующие три 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 включает ранние системы радиозондирования, работающие в полосе частот 1680 МГц. Системы, подпадающие под эту категорию, представлены в Разделе 7 как системы С и D. Третья категория включает новые системы, используемые в полосе частот 1680 МГц. Системы Е подпадают под эту категорию в Разделе 7.

6.3.1 Системы радиозондирования, работающие в полосе частот 403 МГц

Требования для систем, работающих 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, данные считаются пропавшими и нигде больше не используются. Применительно к 120-минутным полетам, эти 4 минуты отсутствия данных выливаются в 97% доступности. Система также использует дополнительный критерий: если период отсутствия на земле данных GPS о ветре превышает 30 минут, то может быть запланирован новый полет. Доступность данных важна на всех этапах полета. После исследования образцов данных, взятых из приблизительно 65 000 полетов, доступность данных о давлении, температуре, влажности и ветре равна 98,5%.

В случае применения более современных цифровых радиозондов, работающих в полосе частот 403 МГц, требования к доступности данных все еще устанавливаются пользователями. Тем не менее, примерные требования следующие:

- потери данных во время запуска радиозонда (<100 метров) неприемлемы;
- для данных о скорости ветра:
 - на высоте от 100 метров до 3 километров над поверхностью доступность данных должна быть по меньшей мере 97%;
 - на высоте от 3 километров 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 пользователей, работающих в полосе частот 403 МГц, пользуются более старыми аналоговыми радиозондами. Более высокая цена радиозондов и длительный период перехода на новые технологии радиозондов будут ограничивающими факторами в использовании цифровых радиозондов в ближайшем будущем. Также следует принимать во внимание реальное использование одновременно и цифровых, и аналоговых радиозондов.

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 колонке, содержащей требования к потерям данных. 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, перестающие 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 с или менее), автоматическая подстройка частоты (АПЧ) приемника перенастроит приемник на другой сигнал достаточной силы, чтобы синхронизировать приемник. В системах RDF проблема также усугубляется RDF антенной, обладающей малой шириной пучка и по этой причине теряющей движущийся радиозонд. Для этих систем потеря контроля над полетом может наступить при нарушении связи длительностью более 0,8 с.

6.3.3 Современные системы радиозондирования, работающие в полосе частот 1680 МГц

У систем в полосе частот 1680 МГц, которые вводятся в действие в настоящее время, а также в последние годы, 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 системах, 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 E и принимающих систем E. 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 метров 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 (т. е. ~200 с 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, большей 1 км, отсутствие двух или более уровней стандартной изобарической поверхности (~10–15 мин) 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.

В завершение можно отметить, что 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 работы систем, функционирующих 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, функционирующая в полосе частот 1680 МГц	Наземное	250	12	87,5	См. Раздел 6.3.2
Система радиозондирования GPS, функционирующая в полосе частот 1680 МГц	Наземное	250	12	97	15 с/5 мин. (95%)
Система радиозондирования NAVAID, функционирующая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с высоким коэффициентом усиления	Наземное/ на судне	250	12	97	–
Система радиозондирования NAVAID, функционирующая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с низким коэффициентом усиления	Наземное/ на судне	150	12	97	–
Система радиозондирования NAVAID, функционирующая в полосе частот 403 МГц с приемной антенной с высоким коэффициентом усиления и цифровым приемником	Наземное/ на судне	250	7	97	–
Система радиозондирования NAVAID, функционирующая 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 принимающих станций, объединяющих приемник и антенну.

7.1 Характеристики передатчиков

Типичные характеристики используемых в настоящее время передающих систем в полосах частот 403 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)
Диапазон настройки (МГц)	400,15–406	400,15–406
Максимальный уход в полете (кГц)	± 800	±20
Номинальная выходная мощность (дБм)	+24,0	+23,0
Максимальный коэффициент усиления антенны (дБи)	2	2
Тип излучения МСЭ-R	F9D	
Модуляция	FM	GMSK
Модулирующий сигнал РТУ (кГц)	7–10	Отсутствует
Отклонение сигнала РТУ (кГц)	45 ± 15	4,8
Отклонение, вызванное радиорелейной связью ОНЧ/Лоран-С (кГц)	100/300	Отсутствует
Ширина занимаемой полосы частот с Лоран-С (кГц) (уровень – 40 дВс)	480	Отсутствует
Ширина занимаемой полосы частот с GPS (кГц) (уровень – 40 дВс)	200	200
Эквивалентная скорость передачи информации сигнала РТУ (бит/с)	1 200 ⁽¹⁾	Отсутствует
Эквивалентная скорость передачи информации сигнала РТУ и GPS (бит/с)	2 400	2 400
Внеполосное излучение (дВс)	< – 43	< –48

⁽¹⁾ Скорость передачи информации указана для того, чтобы отразить реальную скорость передачи данных от радиозонда к наземному передатчику. В силу использования техник модуляции тока для оценки этих значений требуется дополнительное изучение.

ТАБЛИЦА 5

Характеристики радиосвязи радиозондовых передатчиков в полосе частот 1 680 МГц

Параметр	Тип С (аналоговый)	Тип D (аналоговый)	Тип E (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
Максимальный коэффициент усиления антенны (дБи)	2,0	2,0	2,0
Минимальный коэффициент усиления антенны	< -10	< -10	-4
Модуляция	AM, 100%	FM	FSK
Модулирующий сигнал RTU (кГц)	0,7–1,0	7–10	Отсутствует
Отклонение	Неприменимо	45 ± 15	< 50 кГц
Определение параметров ветра	Обнаружение углов приема	Обнаружение углов приема	GPS
Ширина занимаемой полосы частот	-40 dBc: 0,5 МГц -50 dBc: 1,0 МГц	180 кГц	120 кГц
Скорость передачи информации (бит/с)	1 200	1 200	2 400
Внеполосное излучение (dBc)	< -43	< -43	< -48

7.2 Приемные системы

7.2.1 Полоса частот 403 МГц

Типичные характеристики используемых в настоящее время приемников в полосе частот 403 МГц представлены в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

Характеристики приемников, функционирующих в полосе частот 403 МГц

Параметр	Система А	Система В
Тип	Аналоговая	Цифровая
Частотный диапазон (МГц)	400,15–406	400,15–406
Чувствительность (дБм для требуемых отношения сигнал/шум или E_b/N_o)	-104	-124
Требуемое отношение сигнал/шум	12 дБ	Отсутствует
Требуемое E_b/N_o	Отсутствует	9,6 дБ
АРУ (дБ)	110	Отсутствует
Ширина полосы пропускания по промежуточной частоте (кГц)	300	6
Типы радиозондов	А	В

Независимо от радиозондового передатчика данные приемники могут быть соединены с различными типичными антеннами, как описано в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7

Характеристики антенн, функционирующих в полосе частот 403 МГц

	Антенна 1	Антенна 2	Антенна 3
Тип	Всенаправленная (дипольная, "ground plane")	Направленный угловой отражатель, шесть углов	Kathrein
Частотный диапазон (МГц)	397–409	400–406	400–406
Горизонтальное усиление (дБ)	Всенаправленное	8	2,15
Вертикальное усиление (дБ)	Всенаправленное	-3	-15
Коэффициент шума усилителя (дБ)	< 3,5	< 2,5	< 3,0
Коэффициент усиления усилителя (дБ)	13	20	20
Вносимые потери полосового фильтра	Отсутствует	0,5	0,5
Ширина полосы пропускания полосового фильтра	Отсутствует	400–406 МГц	400–406 МГц

Антенны А и С являются всенаправленными в горизонтальной плоскости, поэтому для отслеживания сигнала радиозонда не требуется никаких передвижений антенны или переключения элементов. Антенна В представляет собой массив, состоящий из шести угловых отражателей и дипольной антенны. Угловые отражатели и дипольная антенна переключаются с помощью диодного переключателя, поэтому к приемнику подключен наиболее подходящий для оптимального приема элемент.

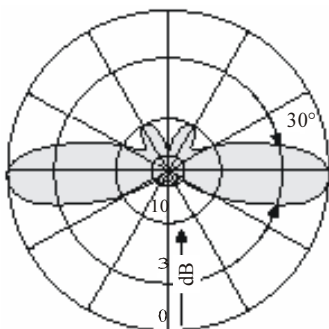
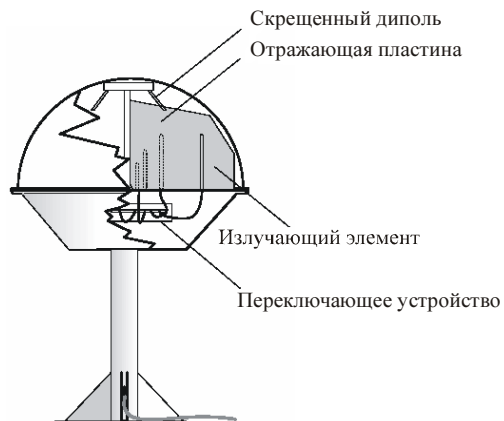
РИСУНОК 6
ДНА антенны СВертикальная ДНА¹¹⁶⁵⁻⁰⁶

РИСУНОК 7

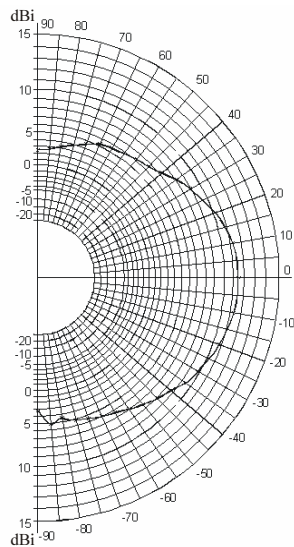
Схема антенны В



1165-07

РИСУНОК 8

ДНА антенны В (плоскость Н, угол 12°)



1165-08

7.2.2 Полоса частот 1680 МГц

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

ТАБЛИЦА 8

Характеристики приемных систем, функционирующих в полосе частот 1680 МГц

Тип	Система С	Система D	Система E
	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 пучка 3 дБ (градусы) (горизонтальная) (вертикальная)	20	8,8	8,0
	15	8,8	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 соотношения сигнал/шум 12 дБ	-110	-97	-106,8
Автоматическая регулировка усиления (дБ)	110		123
полоса пропускания ПЧ, величина РТУ (кГц) – Следящий прием (МГц)	300	180	150
	Не применимо	1,3	150
Используется со следующими типами радиозондов	С	D	E

⁽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 сбрасываемого радиозондирования

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 сенсоров 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 с парашютом. Даже короткие периоды отсутствия данных могут привести к большим потерям данных на значительных участках атмосферы. Несмотря на то, что все данные в течение полета 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 производить 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 GPS 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 сбрасываемого радиозондирования

Системы сбрасываемого радиозондирования разработаны для использования с приемником, расположенным на борту самолета. Высокочастотные антенны, необходимые для работ в полосе частот 1680 МГц, непрактичны. Сбрасываемые радиозонды разработаны для оперирования в полосе частот 403 МГц, распределенной для MetAids, которая пригодна для использования всенаправленных антенн.

ТАБЛИЦА 9

Характеристики передатчиков сбрасываемых радиозондов

Радиочастотный диапазон	400,15–406 МГц
Выходная мощность передатчика	21 дБм
Тип антенны	несимметричный вибратор
Усиление антенны	2 дБи на горизонте –10 дБи в зените и надире
Модуляция	FM (640 BPS FSK и 1200 BPS AFSK)
Ширина спектра излучения	15 кГц
Эксплуатационная высота	От поверхности до 21 400 м

ТАБЛИЦА 10

Характеристики приемников сбрасываемых радиозондов

Радиочастотный 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

Сейчас 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 ракетного радиозондирования

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 ракетного радиозондирования, 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 ракеты, использующей жидкое топливо. Системы ракетного радиозондирования 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 метров, 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 от 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 лучше производится в полосе частот радиоопределения, нежели в полосе частот, распределенной для MetAids.

9.2 Характеристики систем ракетного радиозондирования

Системы ракетного радиозондирования работают в полосах частот 403 МГц и 1680 МГц. Расположенные ниже таблицы содержат характеристики для данных систем.

ТАБЛИЦА 11

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

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, функционирующих в полосе частот 403 МГц, содержатся в таблице 6, столбце "Система В". Характеристики антенн, используемых с ракетными зондами, функционирующими в полосе частот 403 МГц, аналогичны антенне 1 в таблице 7.

ТАБЛИЦА 12

Передатчики ракетных радиозондов, работающие в полосе частот 1680 МГц

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

ТАБЛИЦА 13

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

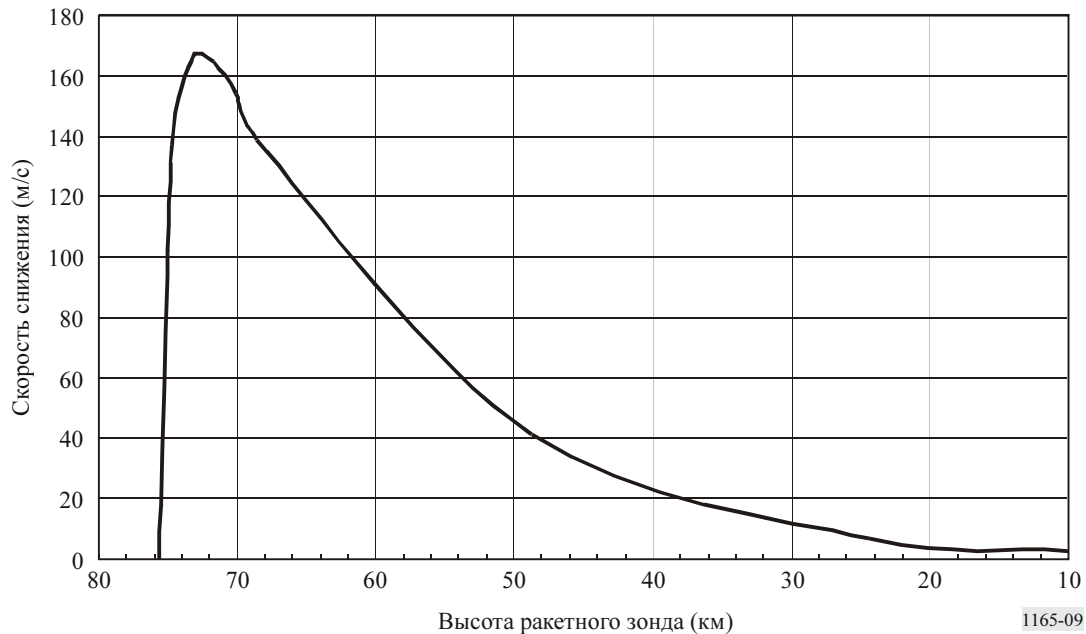
Диапазон настройки (МГц)	1 660–1 700
Ширина пучка антенны (градусы)	5,4
Усиление антенны (дБи)	29
Поляризация антенны	Круговая поляризация правого вращения
Диапазон подъема (градусы)	От –5 до 95
Коэффициент шума приемника (дБ)	6,4 дБ
Модуляция	АМ и FM
Максимальная дальность (км)	300

9.3 Профиль снижения ракетного радиозонда

Профиль снижения ракетного радиозонда нелинейный. Он может оказаться очень важным при выполнении расчетов или проведении имитационного моделирования с целью определения совместимости с другими службами радиосвязи. Рисунки 9 и 10 содержат образцы профилей запуска/снижения ракетного зонда для больших высот.

РИСУНОК 9

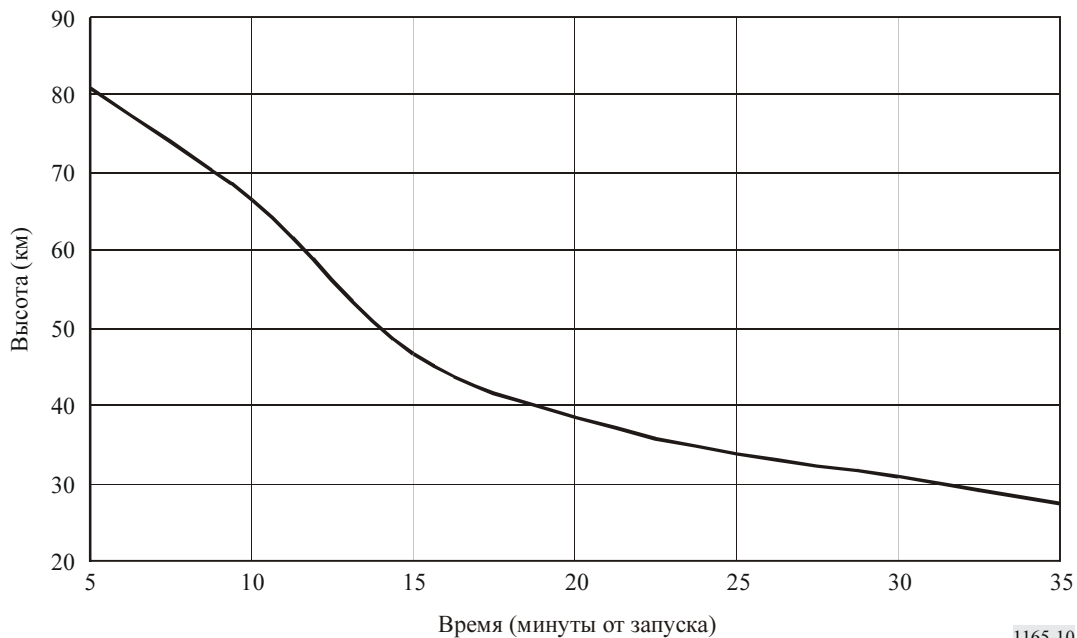
Профиль снижения ракетного зонда для больших высот
(зависимость скорости снижения от высоты)



1165-09

РИСУНОК 10

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



1165-10