

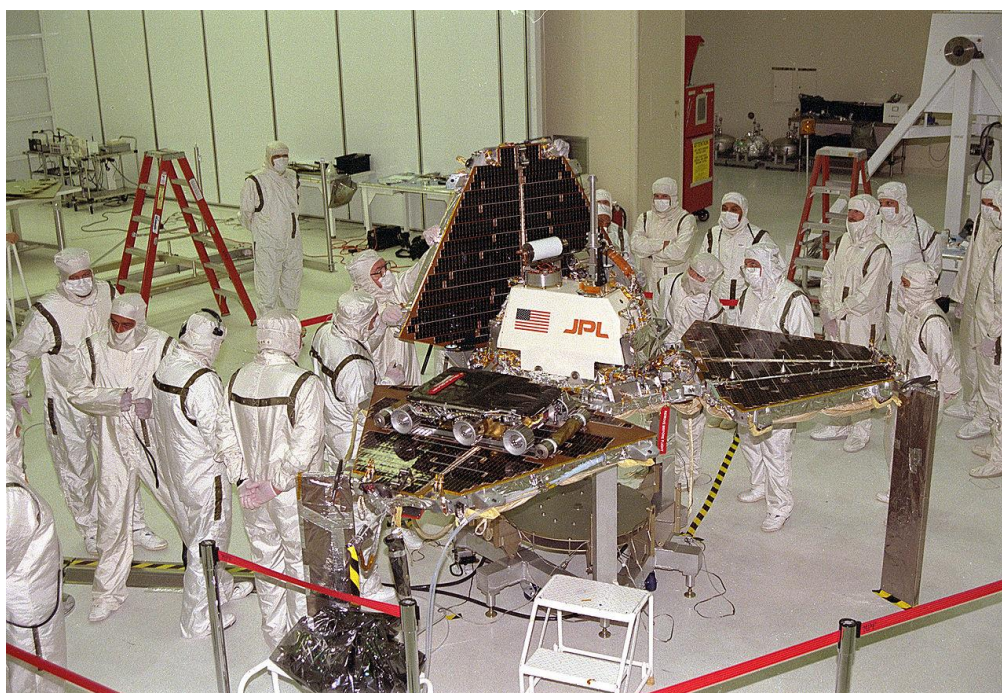
Выпуск 28 часть 1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОМОДЕМОВ УКВ ДИАПАЗОНА В ИНТЕРЕСАХ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ (КОСМИЧЕСКИХ), НАЗЕМНЫХ (ПОДЗЕМНЫХ) И НАДВОДНЫХ (ПОДВОДНЫХ) РОБОТОВ

В настоящем техническом извещении представлена краткая информация об использовании радиомодемов диапазона ультракоротких волн¹ (УКВ) для обеспечения функционирования роботов², предназначенных для решения широкого круга задач на земле, под землей, на воде, под водой, в воздухе и космосе. Материал предназначен для технических специалистов, занятых созданием и эксплуатацией робототехнических систем различного назначения.

1. Общая информация

Применение оборудования связи и обмена данными УКВ диапазона в составе подвижных робототехнических систем³ обусловлено необходимостью обеспечения решения двух комплексов задач: надежного функционирования собственно робота и его бортовой полезной нагрузки в реальном масштабе времени.



Подготовка к запуску марсохода «Соджорнер» (англ. *Sojourner* - «Постоялец»)
ru.wikipedia.org/wiki/Mars_Pathfinder#

¹ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультракороткие_волны

² **Робот** (чеш. *robot*, от *robota* — «подневольный труд») – автоматическое устройство, предназначенное для осуществления различного рода механических операций, которое действует по заранее заложенной программе.

³ **Робототехническая система** (robot system) – система, включающая роботов, рабочие органы роботов, а также машины, оборудование, устройства и датчики, поддерживающие роботов во время работы. ГОСТ Р ИСО 8373-2014 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения».

Независимо от уровня «самостоятельности» и интеллекта любого робота его периодическая или постоянная связь с оператором остается желательной или обязательной. Наличие такой связи, кроме удаленного контроля за действиями робота, позволяет гибко изменять/уточнять уже выполняемую задачу или приостанавливать/отменять ее решение, то есть производить перенацеливание уже в процессе выполнения поставленной задачи.

Первый комплекс задач – обеспечение функционирования робота – выполняется с помощью узкополосных радиомодемов диапазонов очень высоких частот (ОВЧ, 30-300 МГц) и ультравысоких частот (УВЧ, 300-3000 МГц), на базе которых разворачивается командно-управляющая радиосеть. Такая радиосеть предназначена для обмена данными, связанными с контролем перемещения робототехнического комплекса, включая передачу навигационных данных и корректировку параметров движения, управление работой полезной нагрузки и мониторинг технического состояния как полезной нагрузки, так и ее носителя. В командно-управляющей радиосети необходимо оперативно обмениваться короткими сообщениями, в том числе, на значительном удалении. Основной объем данных передается в направлении «пункт управления (ПУ⁴) – борт», а пропускная способность радиосети должна измеряться килобайтами.

Второй комплекс задач – обеспечение функционирования бортовой полезной нагрузки – выполняется с помощью широкополосных радиомодемов диапазонов ультравысоких частот и сверхвысоких частот (СВЧ, 3-30 ГГц), на базе которых разворачивается информационная радиосеть. Такая радиосеть предназначена для передачи оперативных данных от бортовой полезной нагрузки. В информационной радиосети транслируются большие объемы информации в виде файлов или потокового видео. Основной объем данных передается в направлении «борт – ПУ», а пропускная способность радиосети должна измеряться мегабайтами.

Выбор вышеуказанных диапазонов радиочастот дополнительно обусловлен действующим законодательством в области радиочастотного присвоения, предоставляющим доступ к радиоканалам для создания узкополосных радиосетей в ОВЧ⁵ и нижней части УВЧ⁶ диапазонов на основании обобщенных решений, что упрощает получение разрешений на использование радиочастот и легализацию разворачиваемых узкополосных радиосетей обмена данными.

Задействование технологических радиосетей обмена данными УКВ диапазона в интересах обеспечения функционирования подвижных робототехнических комплексов, применяемых на значительном удалении от оператора⁷, имеет следующие основные преимущества:

⁴ Пункт управления может размещаться на суше, воде или в воздухе.

⁵ Обобщенное решение Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации от 28 апреля 2009 г. № 09-03-01-1 «О выделении полосы радиочастот 146-174 МГц для использования радиоэлектронными средствами подвижной и фиксированной служб гражданского назначения».

⁶ Обобщенное решение Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации от 11 декабря 2006 года N 06-18-04-001 «О выделении полос радиочастот в диапазоне 450 МГц для радиоэлектронных средств фиксированной и подвижной, за исключением воздушной подвижной радиосвязи» (с изменениями на 24 декабря 2019 года).

⁷ Дальность связи оператора с объектом по каналам узкополосной радиосети обмена данными УКВ диапазона определяется условиями местности и наличием прямой радиовидимости, обеспечиваемой высотой подвеса приемопередающих антенн. Без дополнительной ретрансляции она может составлять до нескольких десятков километров для наземных и надводных объектов, нескольких сотен для воздушных и тысяч для космических.

- гарантированная надежность⁸ работы (радиосеть создается и управляется ее владельцем с учетом его индивидуальных требований к надежности функционирования);
- высокая живучесть⁹ радиосети в различной обстановке (требование к живучести закладывается на этапе проектирования радиосети ее владельцем, и, как правило, оказывается выше, чем в радиосетях общего пользования);
- обширная рабочая зона, полностью перекрывающая район использования подключенных к радиосети оконечных устройств, как правило, объединенных в автоматизированную систему управления (реально построенные технологические радиосети имеют оперативную зону более миллиона кв. км);
- применение детерминированных протоколов обмена данными, поддерживающих работу в близком к реальному режиму времени и обеспечивающих гарантированную доставку данных в установленные регламентом работы радиосети сроки;
- относительно небольшое время доступа к каналу передачи данных, обеспечивающее незначительные и приемлемые для большинства роботизированных систем задержки в доставке данных;
- высокая безопасность данных, функционирующих в технологической радиосети (применяемые технологии обеспечивают защиту от подавления, перехвата или несанкционированного доступа к работе в составе технологической радиосети);
- относительно низкая стоимость эксплуатации;
- независимость от «чужой» инфраструктуры связи и возможность развивать ее исходя из реальных требований (радиосеть принадлежит эксплуатирующей ее организации, параметры ее работы и оперативная зона могут изменяться ею самостоятельно);
- совместимость с разнородным оборудованием сбора и обработки данных по широко применяемым и детально отработанным интерфейсам;
- простота перемещения и оперативность развертывания в новом районе;
- возможность эксплуатации в жестких условиях окружающей среды.

Следует добавить, что на работу такой радиосети практически не оказывают влияние атмосферные помехи, а появление промышленных помех оперативно ликвидируется регулируемыми использованием радиочастотного спектра ведомствами и организациями.

Технические требования, предъявляемые к командно-управляющей и информационной радиосетям, могут существенно отличаться, однако обе радиосети должны строиться на единой технологической основе и использоваться как составные части единого интегрированного комплекса связи (в идеале могут рассматриваться как две подсети единой системы обмена данными). Реализация такого подхода позволяет добиться максимальной эффективности и надежности применения подвижного радиотехнического комплекса по его предназначению за счет дополнения технических возможностей одной подсети возможностями другой, а также использования одной из подсетей в качестве резервной для второй.

⁸ **Надежность** ([англ. reliability](#)) – свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и транспортирования, ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

⁹ **Живучесть** ([англ. survivability](#)) – свойство системы, характеризуемое способностью выполнять установленный объем функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах, ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения».

2. Космические и воздушные робототехнические комплексы

Краткая информация об использовании узкополосной технологической радиосети обмена данными в программе американского космического агентства NASA «Марс Пасфайндер»¹⁰, в ходе которой за пределами системы Земля-Луна был впервые использован космический робот, представлены в Техническом бюллетене «Узкополосные технологические радиосети управления и сбора данных УКВ-диапазона», выпуск 01¹¹.



Рис. 1. Марсоход «Марс Пасфайндер» и применявшиеся в интересах управления и мониторинга технического состояния на борту марсохода и посадочного модуля радиомодемы RNet9600. (Фото из архива канадской компании Dataradio).

Вышеуказанная миссия состоялась в далеком 1997 году, но с тех пор требования к технологической радиосети управления и обмена данными, обслуживающей работу таких подвижных роботов, принципиальных изменений не претерпели.

Так «Марсианская научная лаборатория»¹² на базе марсохода третьего поколения «Кьюриосити» использует оборудование обмена данными, работающее на скоростях до 32 кбит/с напрямую на Землю, до 256 кбит/с на борт находящегося на орбите Марса спутника «Марс Одиссей» и до 2 Мбит/с – на многофункциональную автоматическую межпланетную станцию NASA (MRO – Mars Reconnaissance Orbiter). Первые два канала используются в интересах управления и мониторинга технического состояния робота, а применяемые в них скорости обмена данными являются типовыми для узкополосных технологических радиосетей обмена данными. Таким образом, современное оборудование для узкополосных радиосетей обмена данными УКВ диапазона в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым такими задачами.

¹⁰ **Mars Pathfinder** («Марсопроходец» по аналогии с землепроходцем; в источниках также *Марс Пасфайндер* или *Марс Патфайндер*) - программа НАСА по изучению Марса с помощью стационарной марсианской станции и марсохода «Соджорнер» (*англ. Sojourner* - «Постоялец»). Станцию позже переименовали в Мемориальную станцию Карла Сагана. Соджорнер стал первым планетоходом,

¹¹ <https://flexlab.ru/technical-bulletin/96-vypusk-01-kosmos/file>

¹² **Марсианская научная лаборатория (МНЛ)** (*англ. Mars Science Laboratory*, сокр. *MSL*), «Марс сайенс лэборатори» - миссия НАСА, в ходе выполнения которой на Марс был успешно доставлен и эксплуатируется марсоход третьего поколения «Кьюриосити» (*англ. Curiosity*, МФА: [ˌkjʊəriˈpsɪti] - *любопытство, любознательность*).

Робототехнические комплексы в авиации наиболее широко представлены беспилотными летательными аппаратами (БЛА) самолетного и вертолетного типов, которые могут обладать разной степенью автономности – от управляемых дистанционно до полностью автоматических, а также различаться по конструкции, назначению и множеству других параметров. Управление БЛА может производиться периодической подачей команд или непрерывно (ДПЛА, дистанционно-пилотируемые летательные аппараты).

Международной ассоциацией по беспилотным летательным системам UVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International, до 2004 года она называлась Европейской ассоциацией по беспилотным системам – EURO UVS) разработана универсальная классификация БЛА, представленная в Таблице 1.

Таблица 1. Международная универсальная классификация БЛА.

Группа	Категория	Взлетная масса, кг	Дальность полета, км	Высота полета, м	Продолжительность полета, ч
Малые БЛА	Нано БЛА	<0,025	<1	100	<0,5
	Микро БЛА	<5	<10	250	1
	Мини БЛА	20-50	<30	150-300	<2
	Легкие БЛА для контроля переднего края обороны	25-150	10-30	3000	2-4
	Легкие БЛА с малой дальностью полета	50-250	30-70	3000	3-6
	Средние БЛА	150-500	70-200	5000	6-10
Тактические	Средние БЛА с большой продолжительностью полета	500-1500	>500	8000	10-18
	Маловысотные БЛА для проникновения в глубину обороны противника	250-2500	>250	50-9000	0,5-1
	Маловысотные БЛА с большой продолжительностью полета	15-25	>500	3000	>24
	Средневысотные БЛА с большой продолжительностью полета	1000-500	>500	5000-8000	24-48
	Высотные БЛА с большой продолжительностью полета	2500-5000	>2000	20000	24-48
Стратегические	Боевые (ударные) БЛА	>1000	1500	12000	2
	БЛА, оснащенные боевой частью (летального действия)	-	300	4000	3-4

	БЛА – ложные цели	150-500	0-500	50-5000	<4
Специального назначения	Стратосферные БЛА	>2500	>2000	>20000	>48
	Экзостратосферные БЛА	-	-	-	-

В России используется собственная универсальная классификация БЛА, информация о которой представлена в Таблице 2.

Таблица 2. Российская универсальная классификация БЛА.

Категория	Взлетная масса, кг	Дальность действия, км
Микро и мини БЛА ближнего действия	0-5	25-40
Легкие БЛА малого радиуса действия	5-50	10-70
Легкие БЛА среднего радиуса действия	50-100	70-150 (250)
Средние БЛА	100-300	150-1000
Средне – тяжелые БЛА	300-500	70-300
Тяжелые БЛА среднего радиуса действия	<500	70-300
Тяжелые БЛА большой продолжительности полета	<1500	1500
Беспилотные боевые самолеты	<500	1500

Узкополосные технологические радиосети обмена данными ОБЧ диапазона могут применяться для управления и контроля оперативного (данные о выполняемой задаче на различных этапах полета) и технического (информация о функционировании БЛА, полезной нагрузки и оборудования радиосети) состояния всех категорий БЛА, кроме относящихся к категориям нано, микро и мини по международной классификации и массой менее пяти кг по российской.

Командно-управляющие радиосети для различных типов БЛА создаются с использованием разнородного оборудования, работающего в различных частях УКВ диапазона. Поскольку объем данных при трансляции команд в направлении «пункт управления - борт БЛА» и приема телеметрической информации в направлении «борт БЛА - пункт управления» в такой радиосети является относительно небольшим, ключевым требованием к радиосети управления и обмена данными для решения этой задачи, наряду с надежностью доставки сообщений, является дальность уверенной связи. При прочих равных зона действия радиосети обмена данными в значительной степени зависит от рабочего диапазона частот, на которых эта радиосеть функционирует. Общеизвестно, что в более низкой части диапазона радиоволн обеспечивается большая дальность передачи. Это связано с характеристиками затухания радиосигналов различных диапазонов волн при распространении в атмосфере.

Данные о затухании радиосигналов различных диапазонов волн при прохождении в атмосфере представлены на Рис. 2.

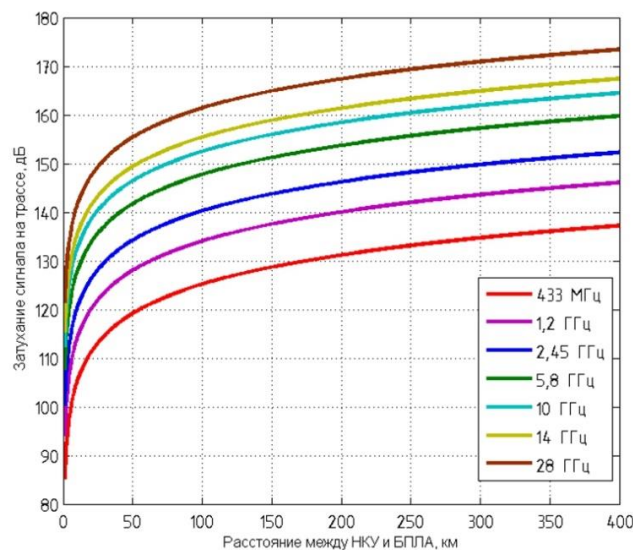


Рис. 2. Затухание радиосигнала различных диапазонов волн при распространении в атмосфере в зависимости от дальности¹³.

Следует отметить, что задействование в интересах обеспечения управления БЛА при решении ответственных задач радиочастот УВЧ диапазона 433,075-434,79 МГц, выделенных для свободного использования устройствам малого радиуса действия¹⁴ невозможно по известным причинам¹⁵. Тем не менее, полноценное использование радиочастот для управления и мониторинга работы БЛА в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ, 300-3000 МГц) допускается регулятором - государственной комиссией по радиочастотам (ГКРЧ). При этом обобщенные решения не распространяются на использование широкополосных каналов обмена данными.

Радиочастоты в диапазоне очень высоких частот (ОВЧ, 30-300 МГц) имеют еще более привлекательные характеристики в части затухания сигнала при распространении в атмосфере, нежели радиочастоты в диапазоне УВЧ. Диапазон ОВЧ на постоянной основе используется самолетами и вертолетами как гражданской, так и военной авиации, в связи с этим представляется целесообразным ориентироваться именно на этот диапазон при организации радиосетей управления и мониторинга оперативно-технического состояния БЛА рассматриваемых категорий.

¹³ «Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния» Н. М. Боев, П. В. Шаршавин, И. В. Нигруза ООО НПП «Автономные аэрокосмические системы – ГеоСервис», Институт инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». <https://uav-siberia.com/news/postroenie-sistem-svyazi-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-dlya-peredachi-informatsii-na-bolshie-ra>




¹⁴ Решение Государственной комиссии по радиочастотам от 7 мая 2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия».

¹⁵ Технический бюллетень ООО «НЦПР», выпуск 14 «Профессиональные технологические радиосети обмена данными УКВ диапазона и радиосети малого радиуса действия». <https://flexlab.ru/technical-bulletin/120-vypusk-14-professionalnaya-i-lyubitelskaya/file>

Для отдельных категорий БЛА определенным ограничением могут стать массогабаритные характеристики антенн ОВЧ диапазона, поскольку их размер определяется длиной волны и будет несколько больше, чем у УВЧ антенн, тем не менее для большинства категорий эти различия будут несущественными, а использование двухдиапазонных антенн может предоставить даже определенные преимущества.

Информация об отдельных видах антенн, применяемых на БЛА, представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Виды антенн УКВ-диапазона, применяемых на борту воздушных подвижных роботов (БЛА).

Общие характеристики			
Рабочий диапазон, МГц	156-163	403-433	136-174, 400-470
Высота, мм	154	90	90
Размер основания, мм	120-170	120-170	55
Масса, г	160	120	450

Выбор рабочих диапазонов радиочастот и, соответственно, радиотехнического оборудования для создания командно-управляющих и информационных радиосетей для различных типов БЛА определяется характером решаемых задач и возможностями носителя по грузоподъемности и энерговооруженности, поскольку оборудование обмена данными для различных диапазонов радиоволн может существенно различаться по массогабаритным характеристикам и электропотреблению.

(Продолжение следует)

ООО «Независимый исследовательский центр перспективных разработок» (НЦПР)

Flexlab
с 1991 года

115583, Москва, ул. Генерала Белова 26, офис 519

Тел. +7 (499) 113 26 98

Факс. +7 (499) 113 26 98

Моб. +7 (915) 465 72 89

E-mail: sm@flexlab.ru

<https://www.flexlab.ru>