

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАДИОСЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ УКВ ДИАПАЗОНА И РАДИОСЕТИ МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В настоящей статье представлена краткая сравнительная информация о возможностях узкополосных технологических радиосетей управления и сбора данных, реализованных на оборудовании, предназначенном для работы в лицензируемых и открытых (не требующих радиочастотного присвоения) диапазонах радиочастот. Представлены некоторые особенности использования вышеуказанных технических средств применительно к различным приложениям.

Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с созданием и организацией работы стационарных автоматизированных систем управления (АСУ), производственной телеметрии и удаленного сбора данных, а также компаний-интеграторов, разрабатывающих и внедряющих автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в промышленности и на транспорте.

1. Общая информация

Технологические¹ радиосети управления и сбора данных на территории Российской Федерации строятся на выделяемых государством радиочастотных ресурсах, использование которых регулируется действующим законодательством. Такие радиосети создаются для решения комплекса функциональных задач, связанных с организацией мониторинга состояния (сбора данных о техническом и/или оперативном состоянии), оперативно-диспетчерского управления и информационного обеспечения в условиях, когда использование других средств связи невозможно или нецелесообразно. Значительная их часть предназначена для обеспечения в качестве основного или резервного средства функционирования критически важных и ответственных приложений, сбой в работе которых может приводить к серьезным авариям и катастрофам. В нашей стране обобщенными решениями Правительства для работы технологических радиосетей определены участки радиочастот в диапазонах ОВЧ² и УВЧ³.

Вместе с тем, решением Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 на территории страны разрешена эксплуатация радиосетей с использованием устройств малого радиуса действия на основе выделенных для свободного доступа полос радиочастот в диапазоне УВЧ. Устройство малого радиуса действия – это техническое средство, предназначенное для передачи и (или) приёма радиоволн на короткие расстояния. Данные устройства применяются при условии, что они не создают помех другим радиоэлектронным средствам (РЭС) и не требуют защиты от помех со стороны других РЭС.

Основной общей характеристикой, объединяющей оба вида вышеупомянутых радиосетей, является отсутствие необходимости оплаты за передаваемую информацию: в первом случае обмен данными организуется в собственной радиосети, во втором используется радиочастотный ресурс, находящийся в свободном доступе.

В настоящей статье рассматриваются только неспециализированные (любого назначения) решения – на базе устройств малого радиуса общего применения, предназначенные для обмена цифровой информацией (радиомодемы), включая устройства дистанционного управления и передачи телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и других подобных передач, как наиболее близкие к применяемому в составе технологических радиосетей оборудованию. Основные технические характеристики и условия использования данных устройств представлены в Таблице 1.

1. Основные технические характеристики и условия использования неспециализированных устройств малого радиуса общего применения.

Полосы радиочастот	Технические характеристики			Рабочий цикл	Разнос каналов	Дополнительные условия использования
	Наименование	Значение	Размерность			
433,075-434,79 МГц	ЭИИМ ⁴ , не более	-17	дБВт			Допускается использование маломощными радиостанциями и устройствами для обработки штрих кодов
433,05-434,79 МГц ⁵	Максимальная мощность передатчика	5	мВт	<10%	Нет	Нет
	Максимальный коэффициент усиления антенны	3	дБ			

Примечание: введено [решением](#) ГКРЧ при Минкомсвязи России от 11.12.2013 № 13-22-08.

Как видно из таблицы, вышеуказанные устройства задействуют так называемый LPD433⁶ диапазон (радиолюбительский диапазон 70 см). В большинстве стран мира этот диапазон разрешен к свободному использованию с некоторыми оговорками, как правило, с ограничением мощности передатчика и жестко назначенными частотами для приема-передачи. При этом нельзя применять антенну с коэффициентом усиления более 0 [дБи](#), а также [внешние антенны](#). В диапазоне LPD433 могут и работают многие устройства различного назначения, такие как радиопульты, автомобильные радио сигнализации, а также, так называемые, безлицензионные [радиостанции](#), для которых не требуются регистрация.

Ограничения, налагаемые на свободно продающиеся безлицензионные радиостанции, не позволяют без контроля государственных органов организовать эффективную систему связи с использованием внешних антенн и/или [радио ретрансляторов](#).

2. Области применения технологических радиосетей обмена данными

Область применения технологических радиосетей обмена данными определяется следующими основными оперативно-техническими возможностями и преимуществами:

- надёжность среды передачи (линия передачи не подвергается механическим повреждениям и разрушающему влиянию окружающей среды, а ее состояние контролируется соответствующими государственными органами);
- обширная оперативная зона с возможностью ретрансляции сигнала (реально построенные радиосети имеют сплошную 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 автоматизированных 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 собственно пользователю, параметры ее работы и оперативная зона могут изменяться им 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.

Основными пользователями узкополосных стационарных средств обмена данными являются:

- промышленность и транспорт, где они применяются для управления телемеханическими устройствами и аппаратурой сбора телеметрической информации;
- банки и офисы — для подключения автономно функционирующих технических средств, например, банкоматов;
- вооруженные силы и службы общественной безопасности — для оперативного управления подвижными силами и средствами, дистанционного управления специальной техникой и оповещения.

Наиболее широкое распространение в России такие радиосети получили на предприятиях топливно-энергетического комплекса, в горнодобывающей промышленности, лесном и водном хозяйстве, дорожных службах, на стационарных и подвижных объектах авиационного, железнодорожного,

автомобильного и электротранспорта.

3. Области применения радиосетей малого радиуса действия

Область применения радиосетей обмена данными малого радиуса действия близка по назначению к области применения технологических радиосетей, и также определяется следующими оперативно-техническими возможностями и преимуществами, но с определенными ограничениями:

- состояние среды передачи данных не контролируется соответствующими государственными органами. Доступ к радиочастотному ресурсу производится на конкурентной основе — каждый из абонентов выходит на связь, когда у него возникает потребность, независимо от текущей загрузки каналов связи;
- ограниченная оперативная зона без возможности ретрансляции сигнала (дальность связи с установленной регулятором выходной мощностью существенно ограничена);
- отсутствие единых протоколов доступа к каналу связи, обеспечивающих совместную работу группы абонентов без взаимных помех и гарантированную доставку данных в установленные сроки в близком к реальному режиме времени;
- большее по сравнению с технологическими радиосетями время доступа к каналу передачи данных, усугубляемое более низкой скоростью обмена данными, и неприемлемые для большинства автоматизированных систем задержки в доставке данных;
- относительно низкая безопасность данных, функционирующих в технологической радиосети (применяемые технологии имеют слабую защиту от подавления или перехвата, поскольку работа ведется на общедоступном оборудовании и в каналах общего пользования);
- существенно более низкая чем у технологических радиосетей обмена данными совокупная стоимость владения (за счет более низкой стоимости оборудования, затрат на проектирование радиосетей, отсутствия инфраструктуры и необходимости оформлять радиочастотное присвоение);
- независимость от «чужой» инфраструктуры связи и возможность развивать ее исходя из реальных требований (радиосеть может разворачиваться в любом районе без предварительного согласования с регулятором);
- совместимость с разнородным оборудованием сбора и обработки данных по широко применяемым и детально отработанным интерфейсам;
- простота перемещения, оперативность развертывания в новом районе (не требуется развертывания дополнительной инфраструктуры);
- возможность эксплуатации в жестких условиях (определяется моделями выбранного для работы оборудования).

Преимуществами радиосетей обмена данными малого радиуса действия являются:

- быстрое развертывание сети и установление связи, поскольку отсутствует необходимость тратить время на оформление радиочастотного присвоения;

- относительно невысокие первоначальные затраты;
- возможность использовать весь выделенный спектр частот.

Определенными недостатками радиосетей обмена данными малого радиуса действия являются:

- работа неограниченного количества пользователей в совмещенном диапазоне частот, и, как следствие, наличие интерференционных помех и относительно низкое качество передачи;
- необходимость тщательного изучения радиоэлектронной обстановки и продуманного территориально-частотного планирования размещения оборудования;
- необходимость урегулирования отношений с другими пользователями с целью уменьшения взаимного влияния при работе в радиосети.

Основными пользователями радиосетей обмена данными малого радиуса действия являются:

- радиолюбители;
- промышленность и транспорт, где они применяются для управления телемеханическими устройствами и аппаратурой сбора телеметрической информации, а также обеспечения работы противопожарных и охранных систем.

В настоящее время ведутся работы по внедрению рассматриваемых устройств в медицинских учреждениях.



Наиболее широкое распространение в России такие радиосети получили на предприятиях топливно-энергетического комплекса, в дорожных службах, на стационарных и подвижных объектах промышленности.



4. Сравнение технологических радиосетей обмена данными и радиосетей малого радиуса действия

Попытка сравнения оперативно-технических возможностей оборудования для технологических радиосетей управления и сбора данных и аппаратуры радиосетей обмена данными малого радиуса действия может показаться не совсем корректной, однако, представляется вполне обоснованной, поскольку нередко пользователь стоит перед дилеммой выбора того или иного решения для своей задачи.

В рамках настоящей статьи для сравнения взяты технические характеристики радиомодемов (по два для каждой категории), обеспечивающих обмен данными по последовательному и сетевому интерфейсам. Основные технические характеристики оборудования представлены в таблицах 1 и 2.


1. Технические характеристики профессиональных радиомодемов для построения технологической радиосети обмена данными⁷.

Параметр	Viper-SC+ 100/200/400/900				Guardian 100/200/400/900			
								
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Диапазон частот, МГц	136-174	215-240	406-470; 450-512	880-902 928-960	136-174	215-240	406-470; 450-512	928-960
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5; 6,25	100; 50; 25; 12,5; 6,25	50; 25; 12,5; 6,25	100; 50; 25; 12,5	25 или 12,5			
Количество частотных каналов	до 6080	до 4000	до 16960	до 2560	до 3040	до 2000	до 8480	до 2560
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс				симплекс, полудуплекс, дуплекс			Симплекс, полудуплекс
Передатчик								
Выходная мощность, Вт	1-10			1-8	1-10			1-8
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45				2 x RS-232 (DE-9F)			
Приемник								
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):								
- 100 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-	-103 (64); -96 (192); -89 (256)	-	-100 (64); -93 (192); -86 (256)	не применимо			

Параметр	Viper-SC+ 100/200/400/900				Guardian 100/200/400/900			
								
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
- 50 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-111 (32); -104 (64); -97 (96); -88 (128)			-108 (32); -101 (64); -94 (96); -85 (128)	не применимо			
- 25 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-114 (16); -106 (32); -100 (48); -92 (64)			-111 (16); -104 (32); -97 (48); -89 (64)	-100 дБм (19,2), -107 дБм (9,6), -110 дБм (4,8)			
- 12,5 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-116 (8); -109 (16); -102 (24); -95 (32)			-112 (8); -106 (16); -99 (24); -90 (32)	-107 дБм (9,6), -110 дБм (4,8)			
- 6,25 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-115 (4); -106 (8); -100 (12)				не применимо			
Модем								
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256				4,8; 9,6; 19,2			

Параметр	Viper-SC+ 100/200/400/900				Guardian 100/200/400/900			
								
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача				Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача			
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK				2FSK			
Адресация	IP				не применимо			

2. Технические характеристики радиомодемов для радиосетей обмена данными малого радиуса действия⁸.

Параметр	РМД400-1-PR	РМД400-SP5
		
Диапазон частот, МГц	433,1-434,7	433,1-434,7
Шаг сетки частот, кГц	50	12,5
Количество частотных каналов	до 32	до 128
Рабочий режим	полудуплекс	полудуплекс
Передатчик		
Выходная мощность, мВт	10	10
Цикл работы на передачу, %	100	100
Интерфейсы	Ethernet	RS-232, RS-485
Приемник		

Параметр	РМД400-1-PR	РМД400-SP5
		
Чувствительность при скорости в эфире 1,2 Кбит/с, дБм	-112 (0,56 мкВ)	-118 дБм (0,28 мкВ)
Модем		
Скорость, кбит/с	от 1,2 до 230,4 (программируемая)	от 1,2 до 153,6 (программируемая)
Вид модуляции	FSK	FSK
Адресация	IP	не применимо

В процессе расчетов при сравнительном анализе были приняты следующие условия:

1. Для сравнения выбраны пары радиомодемов, имеющие одинаковые характеристики в части шага сетки радиочастот и работающие в УВЧ-диапазоне.
2. Оценка выполнена для работы на минимальной и максимальной скоростях обмена данными с учетом потерь при прохождении в воздушной среде. Баланс сигнала для антенно-фидерного устройства не учитывался несмотря на то, что для достижения соответствующей дальности работы требуется подвес приемопередающих антенн на относительно большой высоте, что связано с потерями сигнала в кабельной системе. В технологической радиосети обмена данными допускается применение антенн с коэффициентами усиления более 0 дБ, что позволяет не только компенсировать потери, но и увеличить мощность выходного сигнала, существенно улучшив параметры по дальности и надёжности связи.
3. Расчеты дальности связи выполнялись только по балансу сигналов, без учёта необходимости обеспечения электромагнитной доступности (например, для случая установки антенны на борту летательного аппарата, находящегося на необходимой для организации связи высоте, обеспечивающей прямую радиовидимость).

Сравнительные данные по оперативно-техническим параметрам радиосетей при минимальных скоростях обмена данными представлены Таблицах 3.1 и 3.2.

3. Сравнительные данные по оперативно-техническим параметрам радиосетей на радиомодемах РМД400-1-PR и Viper-SC+ 400 при минимальных скоростях обмена данными.

Параметр	PMД400-1-PR	Viper-SC+ 400
Диапазон частот, МГц	433,1-434,7	406-470; 450-512
Скорость, кбит/с	1,2	32
Чувствительность, дБм	-118	-110
Шаг сетки частот, кГц	50	50
Дальность связи при вероятности приёма сообщения, км:		
• 0,9	11	440
• 0,99	5,5	220
• 0,999	1,75	69

3. Сравнительные данные по оперативно-техническим параметрам радиосетей на радиомодемах PMД400-1-PR и Viper-SC+ 400 при максимальных скоростях обмена данными.

Параметр	PMД400-1-PR	Viper-SC+ 400
Диапазон частот, МГц	433,1-434,7	406-470; 450-512
Скорость, кбит/с	230,4	128
Чувствительность, дБм	-96	-88
Шаг сетки частот, кГц	50	50
Дальность связи при вероятности приёма сообщения, км:		
• 0,9	0,87	38
• 0,99	0,44	19
• 0,999	0,14	6

4. Сравнительные данные по оперативно-техническим параметрам радиосетей на радиомодемах PMД400-SP5 и Guardian 400 при минимальных скоростях обмена данными.

Параметр	PMД400-SP5	Guardian 400
Диапазон частот, МГц	433,1-434,7	406-470; 450-512
Скорость, кбит/с	1,2	4,8
Чувствительность, дБм	-112	-110

Параметр	РМД400-SP5	Guardian 400
Шаг сетки частот, кГц	12,5	12,5
Дальность связи при вероятности приёма сообщения, км:		
• 0,9	5,5	440
• 0,99	2,75	220
• 0,999	0,87	69

3. Сравнительные данные по оперативно-техническим параметрам радиосетей на радиомодемах РМД400-SP5 и Guardian 400 при максимальных скоростях обмена данными.

Параметр	РМД400-SP5	Guardian 400
Диапазон частот, МГц	433,1-434,7	406-470; 450-512
Скорость, кбит/с	153,6	9,6
Чувствительность, дБм	-109	-107
Шаг сетки частот, кГц	12,5	12,5
Дальность связи при вероятности приёма сообщения, км:		
• 0,9	3,9	310
• 0,99	1,95	155
• 0,999	0,62	49

Значительная часть современных АСУ предъявляет достаточно жесткие требования к надёжности и своевременности доставки данных. Действительно, на практике вероятность приёма сообщения, равная 0,9, означает снижение пропускной способности радиосети (каждое десятое сообщение должно дублироваться, а это требует времени и сетевых ресурсов). В связи с этим при проектировании радиосетей обмена данными целесообразно ориентироваться на вероятность принятия сообщения не ниже 0,99.

Следует отметить, что представленные выше данные получены в результате расчетов для идеальных условий работы радиосети. На практике такие условия выполняются крайне редко, если не сказать никогда. Более того, идеальные на данный период условия могут серьезно измениться через некоторое время, а ведь радиосеть должна надежно функционировать на протяжении длительного периода. Значит на этапе ее проектирования необходимо предусмотреть запас по мощности сигнала. В

профессиональных технологических радиосетях обмена данными сделать это совсем не сложно, а вот в радиосетях обмена данными малого радиуса действия такие возможности серьезно ограничены максимально допустимой мощностью транслируемого в эфир радиосигнала.

Но самым серьезным отличием в условиях эксплуатации вышеуказанных радиосетей является используемая среда передачи.

В случае с профессиональной технологической радиосетью обмена данными работа организуется на специально выделенных номиналах радиочастот, право на использование которых принадлежит только владельцу радиосети на основании полученного им радиочастотного присвоения. Только владелец радиосети определяет порядок использования имеющихся у него радиочастотных ресурсов, исходя из собственных потребностей. Только он определяет количество подключаемых к радиосети абонентов, распределяет сетевые ресурсы, выделяемые для каждого абонента, устанавливает приоритеты и предусматривает особенности в работе. Отсутствие промышленных помех или помех от других пользователей на этих частотах контролируется государством, а возникающие помехи устраняются регулятором.

С радиосетями обмена данными малого радиуса действия ситуация кардинально отличается: неконтролируемое количество пользователей делят между собой имеющийся ограниченный радиочастотный ресурс на конкурентной основе. Единственным существенным ограничением является максимально допустимая выходная мощность работающих устройств. При этом свободный ещё вчера радиоэфир уже сегодня может быть полностью загружен: к работе в эфире дисциплинированных радиолюбителей добавятся служебные переговоры служб безопасности и логистики, сигналы охранной и пожарной сигнализации, сообщения АСУ соседнего предприятия, работа безлицензионных радиостанций охотников, рыболовов, грибников. Следует отметить, что, в борьбе за надёжность связи, отдельные пользователи частенько норовят увеличить допустимую выходную мощность своих радиотехнических средств, не взирая на действующие ограничения. В результате в эфире возникает неконтролируемый хаос, который не идет на пользу ни одной автоматизированной системе.

Значительная часть автоматизированных систем управления и сбора данных предназначена для выполнения ответственных задач и предъявляет жесткие требования к обеспечивающим ее работу средствам обмена данными, включая детерминированные задержки. В связи с вышеуказанным, использование радиосетей малой дальности для обеспечения их работы оказывается невозможным. Однако, в случаях, когда такая радиосеть разворачивается на контролируемой территории (например, территории промышленного предприятия или в закрытой для общего доступа зоне), исключая возможность выхода в эфир радиотехнических средств других пользователей, применение устройств малой дальности может оказаться целесообразным и эффективным.

Выводы:

1. Задачи удаленного управления и сбора данных в современных АСУ могут решаться с использованием узкополосных профессиональных и любительских (малой дальности) радиомодемов, работающих в УКВ-диапазоне, которые обеспечивают подключение внешнего оборудования (контроллеров, датчиков, исполнительных устройств) по последовательному и сетевому интерфейсам.

2. Проектирование и создание рассматриваемых радиосетей должно выполняться с учетом требований по надёжности доставки информации, которая существенно влияет на дальность связи. При расчетах целесообразно ориентироваться на вероятность доставки данных не ниже 0,99.
 3. Расчетная дальность работы рассматриваемого оборудования по энергетическим характеристикам при наличии прямой радиовидимости и с заданной надёжностью колеблется в широких пределах и может составлять до 5,5 км (при скорости обмена данными 1,2 кбит/с) для радиосетей на оборудовании малой дальности и нескольких сот километров (при скорости обмена данными 9,6 кбит/с) для профессиональных радиомодемов. На максимально допустимых скоростях обмена данными дальность связи составит не более 1,95 и 155 км, соответственно.
 4. При построении радиосетей для ответственных АСУ целесообразно создавать технологические радиосети на профессиональных узкополосных радиомодемах УКВ-диапазона. Устройства малой дальности для решения таких задач следует использовать на контролируемых территориях, в зонах, где исключается работа посторонних радиотехнических средств.
-

Сноски

1. **Технологическая сеть связи** ([англ. private network](#)) – предназначена для обеспечения производственной деятельности организаций, управления технологическими процессами в производстве. Технологии и средства связи, применяемые для создания технологических сетей связи, а также принципы их построения устанавливаются собственниками или иными владельцами этих сетей. [Федеральный закон «О связи» от 07.07.2003 N 126-ФЗ]. ↩
2. **ОВЧ** - очень высокие частоты, метровые волны 30 до 300 МГц. ↩
3. **УВЧ** - ультравысокие частоты, дециметровые волны от 300 до 3000 МГц. ↩
4. **ЭИИМ** - эквивалентная изотропно-излучаемая мощность ([англ. EIRP — Equivalent Isotropically Radiated Power](#)) - произведение мощности радиочастотного сигнала, подводимого к антенне, на абсолютный коэффициент усиления антенны. ГОСТ 24375-80. «Радиосвязь. Термины и определения». ↩
5. Только для систем радиосигнализации, включая системы общественной радиосигнализации и системы радиосигнализации для обеспечения безопасности. ↩
6. **LPD433** ([англ. Low Power Device](#)) - диапазон радиочастот для маломощных устройств, входящий в международную сетку промышленных, научных и медицинских частот. ↩
7. По материалам с сайта www.rodnik.ru. ↩
8. По материалам с сайта www.ec-mobile.ru. ↩