

# Использование радиомодемов УКВ диапазона в интересах применения воздушных (космических), наземных (подземных) и надводных (подводных) роботов

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

*В настоящем техническом бюллетене представлена краткая информация об использовании радиомодемов диапазона ультракоротких волн<sup>1</sup> (УКВ) для обеспечения функционирования роботов<sup>2</sup>, 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. Командно-управляющая радиосеть для БЛА

Предполагается, что для работы командно-управляющих радиосетей для БЛА будут выделены следующие диапазоны радиочастот: 118-137; 390-399,9; 860-876; 902-915 и 921-925 МГц.

Основные виды информации, передаваемой в командно-управляющей радиосети между пунктом управления и БЛА, включают в себя:

- сигналы управления полетом (передаются в направлении «ПУ-борт»);
- доклады о ходе полета, включая навигационную информацию («борт-ПУ»);
- сигналы управления полезной нагрузкой («ПУ-борт»);
- доклады об использовании полезной нагрузки («борт-ПУ»);
- запросы о техническом состоянии подсистем и агрегатов БЛА («ПУ-борт»);
- доклады о техническом состоянии подсистем и агрегатов БЛА («борт-ПУ»);
- запросы о техническом состоянии полезной нагрузки («ПУ-борт»);
- доклады о техническом состоянии полезной нагрузки БЛА («борт-ПУ»).

Дополнительно могут передаваться аварийные сигналы, генерируемые на борту БЛА. Объем передаваемой в командно-управляющей радиосети данных является относительно небольшим, но даже незначительные задержки при ее доставке, как правило, являются критическими для выполнения поставленной задачи. Передача ведется короткими импульсами со значительными перерывами (соотношение времени работы на передачу/излучение и приём может колебаться от 1:30 до 1:1000 в зависимости от решаемой задачи, при этом обмен данными ведется по команде стационарного или подвижного наземного, воздушного либо надводного пункта управления. Для обеспечения обмена данными в таком режиме лучше всего подходит узкополосное оборудование, работающее на невысоких скоростях и имеющее достаточно большую выходную мощность. В этом случае достигаются наилучшие параметры по критерию «дальность связи — пропускная способность радиосети», то есть для

оперативной передачи необходимого объёма информации обеспечивается максимальная дальность. Намеренное нарушение работы такой радиосети связано с определенными трудностями даже при отказе от применения средств помехоустойчивого кодирования в работе радиосети.

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-100И»	Радиомодем «Гепард-100С»
		
Диапазон частот, МГц	146-174	146-174
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	25, 12,5	50; 25; 12,5
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)	10-30 (постоянный ток)
Габаритные размеры (Ш x Г x В), см	17,0 x 16,0 x 6,1	17,0 x 16,0 x 6,1
Масса (в упаковке), кг	1,2	1,4
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс	симплекс/полудуплекс
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10	1-10
Антенный разъем	TNC	TNC
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), RJ45 Ethernet, USB	2 x RS-232 (DE-9F), Ethernet RJ-45, USB
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2	16; 24; 32; 48; 64; 96; 192
Индикация	Питание, состояние, подключение к оконечному оборудованию, приём/передача	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача
Адресация	нет	IP

Вспомогательные беспроводные интерфейсы	нет	3G/4G, WiFi IEEE 802.11b/g/n	
-----------------------------------------	-----	---------------------------------	--

Радиомодем «Гепард-100И» представляет собой «прозрачное»<sup>3</sup> устройство, использующее в качестве основных последовательные интерфейсы RS-232/422/485 и имеющее служебный порт стандарта USB (используется для настройки и диагностики). Кроме того, в состав изделия включен преобразователь Ethernet/RS-232, обеспечивающий подключение к радиомодему внешних устройств с сетевым интерфейсом. Радиомодем «Гепард-100И» полностью совместим с уже применяемым в составе радиосетей управления БЛА американским радиомодемом Integra-TR 242-4018-550 при работе в диапазоне 146-174 МГц с шагом сетки радиочастот 25 и 12,5 кГц на скоростях обмена данными 4,2, 9,6 и 19,2 кбит/с.

Радиомодем «Гепард-100С» представляет собой «пакетирующее»<sup>4</sup> устройство. В дополнение к вышеупомянутым последовательным интерфейсам он имеет полноценный сетевой порт Ethernet, дополнительные встроенные средства обмена данными для работы в составе сетей сотовой связи стандартов 3G/4G, а также WiFi (IEEE 802.11b/g/n). При этом, в зависимости от встроенного программного обеспечения, он может быть настроен для совместной работы с «прозрачными» радиомодемами в единой радиосети на скоростях 4,8, 9,6 и 19,2 кбит/с при подключении оконечных устройств по протоколу TCP/IP.

Таким образом, в ближайшее время значительная часть ограничений, связанных с применением в составе командно-управляющих радиосетей для БЛА радиотехнического оборудования зарубежного производства ОВЧ диапазона будет снята за счет внедрения отечественного оборудования.

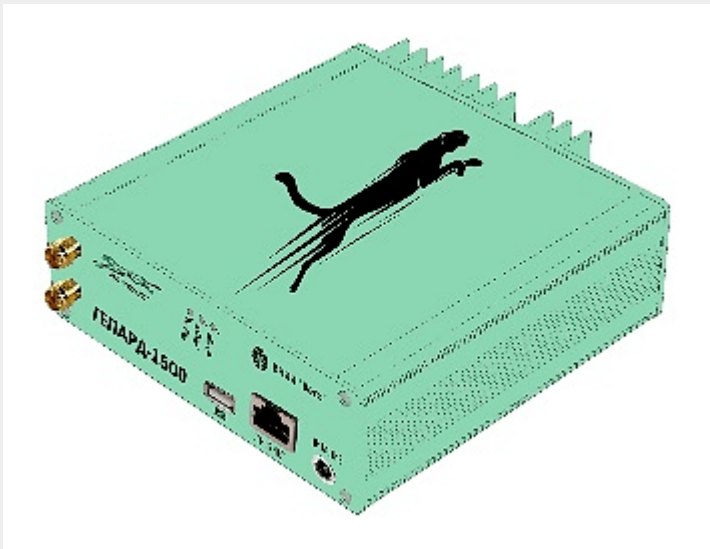
Радиомодемы семейства «Гепард» ОВЧ диапазона смогут применяться на БЛА всех типов за исключением микро и мини БЛА ближнего действия по российской универсальной классификации.

С появлением малогабаритных летательных аппаратов – микро и мини БЛА ближнего действия — возникла необходимость создания соответствующей беспроводной аппаратуры обмена данными для управления такими аппаратами (организации командно-управляющей радиосети) и передачи данных от установленной на их борту полезной нагрузки (формирования информационной радиосети). К такой аппаратуре предъявляются более жесткие требования в части массогабаритных характеристик, поэтому она должна использовать более высокую часть радиодиапазона: верхнюю часть диапазона ОВЧ (как правило, 1000-3000 МГц) или диапазон СВЧ.

Выбранный рабочий диапазон определяет ограничения по массогабаритным характеристикам использующего данный диапазон изделия. Так длина волны 300 МГц составляет один метр, а 3 ГГц — всего 10 см. Соответственно, все линейные размеры радиотехнических средств в диапазоне СВЧ будут также значительно меньше, чем в диапазоне ОВЧ. При этом допускается использование более широких каналов связи, что позволяет на порядки увеличить пропускную способность радиосети и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым современными полезными нагрузками (бортовой оптической и тепловизионной аппаратурой). Ограничения по дальности связи для микро и мини БЛА ближнего действия оказываются не принципиальными, поскольку дальность действия таких БЛА является относительно небольшой.

В составе радиотехнической платформы «Гепард» имеются изделия, предназначенные для создания технологических радиосетей обмена данными вышеуказанных типов БЛА. Разработка данных изделий выполнена специалистами АО «ВНИИ «Вега» (<https://vniivega.ru>). Для развертывания и поддержания работы командно-управляющей радиосети применяется радиомодем «Гепард-1500», работающий в УВЧ диапазоне. На борту БЛА используется малогабаритный радиомодем «Гепард-1500БЛА», поддерживающий работу как командно-управляющей, так и информационной подсетей. Для увеличения дальности работы на борту БЛА может дополнительно устанавливаться усилитель мощности. Основные технические характеристики наземного и бортового оборудования для микро и мини БЛА ближнего действия представлены в Таблицах 5 и 6.

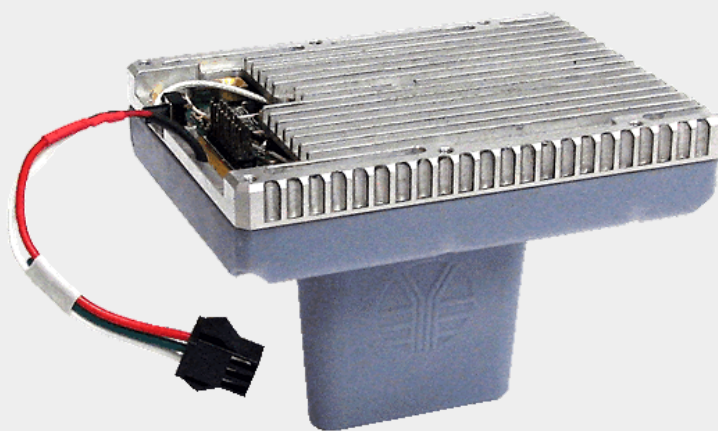
#### 4. Основные технические характеристики радиомодема «Гепард-1500» для пункта управления.

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-1500»
	
Диапазон частот, МГц	1500-1800
Тип излучения	40MOG1DDN
Потребляемый ток:	
- передача 2 Вт, А	2
Рабочее напряжение, В	10-36 (постоянный ток)
Температура хранения, град. С	от -40 до +50
Рабочая температура, град. С	от -40 до +50
Влажность, %	5-95, без образования конденсата
Габаритные размеры (Ш x Г x В), мм	160 x 188,5 x 55
Масса (в упаковке), кг	3,0
Рабочий режим	симплекс
<b>Передатчик</b>	
Ширина полосы сигнала, МГц	40

Выходная мощность при напряжении 27 В, Вт	0,1-2
Время переключения с передачи на приём, мс	1
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Интерфейсы	10Base-T, 100Base-T (RJ-45)
Антенна	SMA (мама)
<b>Приемник</b>	
Чувствительность (вероятность ошибки $1 \times 10^{-6}$ ):	-105
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	70
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	70
Время переключения с приёма на передачу, мс	1
<b>Модем</b>	
Скорость, кбит/с	400
Вид модуляции	QPSK + DSSS
Адресация	IP
Задержка передачи пакета, мс	20
Поддержка ячеистой топологии (mesh-сеть)	до 10 узлов

#### 5. Основные технические характеристики бортового радиомодема «Гепард-1500БЛА».

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-1500БЛА»
Диапазон частот, МГц	1500-1800
Класс излучения	40MOG1DDN
Рабочее напряжение, В	9-14 (постоянный ток)
Температура хранения, град. С	от -40 до +50



Рабочая температура, град. С	от -40 до +50
Влажность, %	5-95, без образования конденсата
Габаритные размеры модема (Ш x Г x В), мм	70 x 95x 20
Масса (с антенной), кг	0,32
Передатчик	
Выходная мощность, Вт	0,1-2,0
Время включения на передачу, мс	0,6
Время переключения между каналами, мс	<10
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1x10 <sup>-6</sup> ):	-105
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	70
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	70
Модем	
Скорость, кбит/с	400
Индикация	питание
Вид модуляции	QPSK + DSSS
Адресация	IP
Задержка передачи пакета, мс	20
Поддержка ячеистой топологии по каналу управления (mesh-сеть)	до 10 узлов БЛА

Следует отметить, что оборудование для микро и мини БЛА имеет более низкую выходную мощность, что обусловлено не только техническими ограничениями платформы-носителя, но и относительно небольшой зоной их оперативного применения.

Формируемая с помощью радиомодемов «Гепард-1500БЛА» и «Гепард-1500» радиосеть может использоваться также в качестве информационной для обслуживания отдельных видов полезной нагрузки.

## 2. Информационная радиосеть для БЛА

Предполагается, что для работы информационных радиосетей для БЛА будут выделены следующие диапазоны радиочастот: 1427-1535; 2214-2226; 2328-2340, 2400-2500 и 2580-2592 МГц.

Основные виды информации, передаваемой в информационной радиосети между пунктом управления и БЛА, включают в себя:

- оперативную информацию от бортовой полезной нагрузки (передается в направлении «борт-ПУ»);
- команды на использование бортовой полезной нагрузки («ПУ-борт»).

Объём такой информации достаточно большой, но незначительные задержки при ее доставке, как правило, не являются критическими для выполнения поставленной задачи. Передача ведется практически непрерывно в пакетном режиме (соотношение времени работы на передачу/излучение и приём может колебаться от 100:1 до 1000:1 в зависимости от решаемой задачи, при этом основной объём данных передается со стороны БЛА. Для обеспечения обмена данными в таком режиме подходит только широкополосное оборудование, работающее на высоких скоростях обмена данными. В этом случае достигаются наилучшие параметры по критерию «дальность связи — пропускная способность радиосети», то есть для оперативной передачи необходимого объёма информации обеспечивается максимальная дальность. Намеренное нарушение работы такой радиосети представляется достаточно простой задачей, поэтому оборудование для информационной радиосети предусматривает использование дополнительных средств помехоустойчивого кодирования.

Программа создания отечественной радиотехнической платформы «Гепард» предполагает разработку оборудования для широкополосных радиосетей обмена данными, разработка которого выполняется специалистами АО «ВНИИ «Вега». Для обеспечения работы информационных радиосетей робототехнических комплексов различного назначения, включая беспилотные летательные аппараты, предполагается применение широкополосных радиомодемов «Гепард-2900» и «Гепард-2900БЛА», основные технические характеристики которых представлены в Таблицах 7 и 8.

#### 6. Основные технические характеристики широкополосного радиомодема «Гепард-2900».

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-2900»
Диапазон частот, МГц	2900-3350 (фиксированные частоты: 2920, 3080 или 3320, настраиваются программно)
Тип излучения	40MOX7FWX
Потребляемый ток:	

- приём, А	1
- передача, А	1
Номинальная задержка при холодном старте, с	12
Рабочее напряжение, В	9-36 (постоянный ток)
Температура хранения, град. С	от -40 до +50
Рабочая температура, град. С	от -40 до +50
Влажность, %	5-95, без образования конденсата
Габаритные размеры модема (Ш x Г x В), мм	74 x 130 x 28
Масса модема, кг	1,1
Рабочий режим	Симплекс/дуплекс с временным разделением
<b>Передатчик</b>	
Ширина полосы сигнала, МГц	40
Выходная мощность, Вт	0,1
Время переключения с передачи на приём, мс	0,6
Время переключения между каналами, мс	<10
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Интерфейсы	10Base-T, 100Base-T (RJ-45)
Антенна	2 x SMA (мама)
<b>Приемник</b>	
Чувствительность (вероятность ошибки $1 \times 10^{-6}$ ), дБм	-92 (9 Мбит/с); -88 (17 Мбит/с)
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	70
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	70
Время переключения с приёма на передачу, мс	0,6
Время переключения между каналами, мс	<10
<b>Модем</b>	
Скорость, Мбит/с	9/17
Индикация	Питание, авария, подключение по Ethernet, приём/передача
Вид модуляции	COFDM с QPSK
Адресация	IP

Задержка передачи пакета, мс	4
------------------------------	---

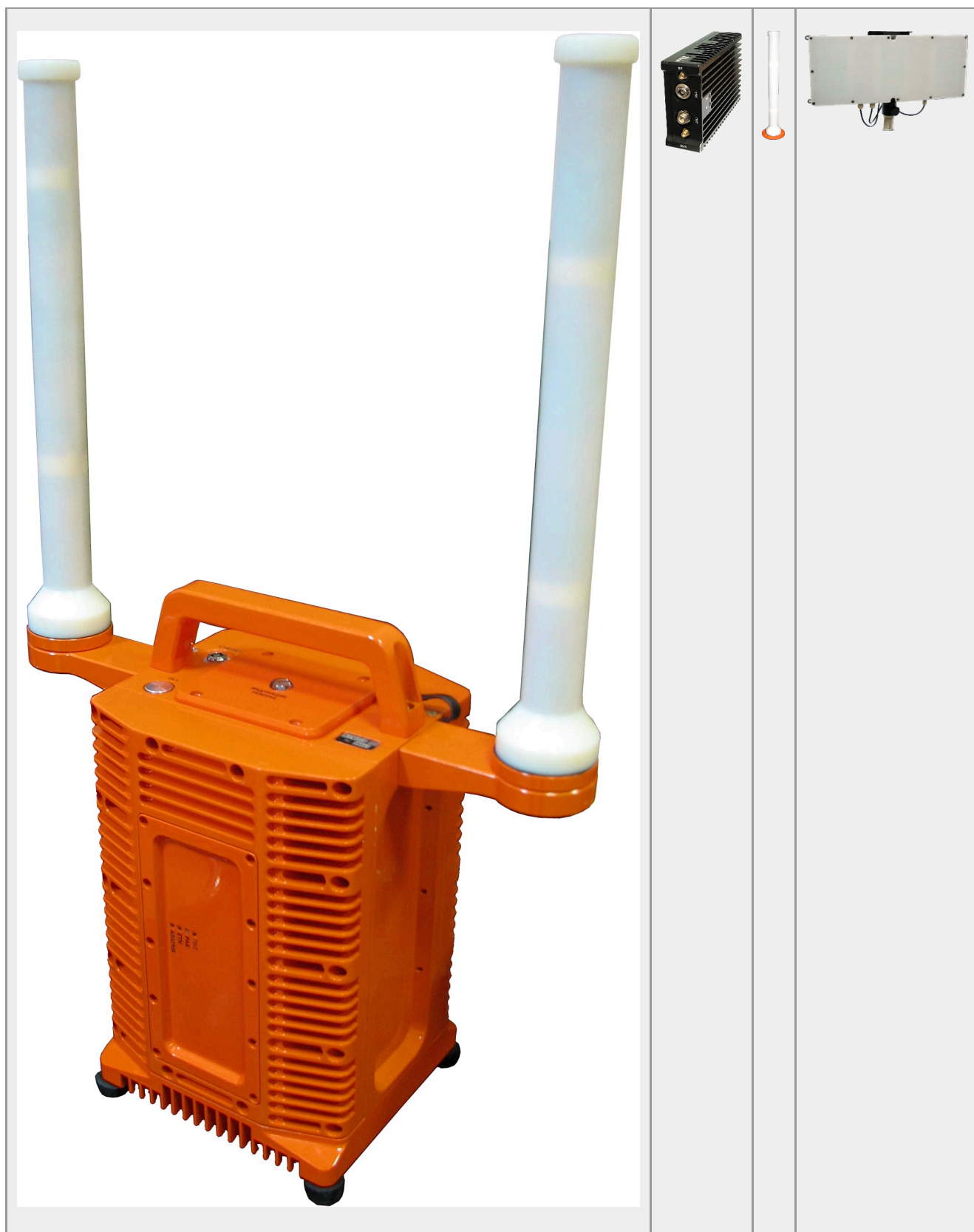
### 7. Основные технические характеристики бортового радиомодема «Гепард-2900БЛА».

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-2900БЛА»
	
Диапазон частот, МГц	2900-3350 (информационная радиосеть, фиксированные частоты: 2920, 3080 или 3320, настраиваются программно)
Класс излучения	40MOX7FWX
Рабочее напряжение, В	9-14 (постоянный ток)
Температура хранения, град. С	от -40 до +50
Рабочая температура, град. С	от -40 до +50
Влажность, %	5-95, без образования конденсата
Габаритные размеры модема (Ш x Г x В), мм	70 x 95x 20
Масса (с антенной), кг	0,32
Передатчик	
Выходная мощность, Вт	0,1-2,0
Время включения на передачу, мс	0,6
Время переключения между каналами, мс	<10
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1x10-6):	-105

Подавление помех по соседнему каналу, дБ	70
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	70
Модем	
Скорость, Мбит/с	9 или 17
Индикация	питание
Вид модуляции	COFDM с QPSK
Адресация	IP
Задержка передачи пакета, мс	20

Формируемая с помощью радиомодемов «Гепард-2900БЛА» и «Гепард-2900» радиосеть может использоваться также в качестве командно-управляющей.

Вспомогательное оборудование, предназначенное для совместного использования с радиомодемом «Гепард-2900» включает в себя ретранслятор, усилитель мощности и комплект антенно-фидерного устройства. Внешний вид вспомогательного оборудования представлен на Рис. 3.



### 3. Вспомогательное оборудование радиомодема «Гепард-2900».

Данный радиомодем позволяет производить обмен данными с бортовым радиомодемом «Гепард-БЛА», обеспечивая приём транслируемой с устанавливаемых на борту полезных нагрузок практически любой мультимедийной информации. Вышеуказанные полезные нагрузки широко применяются и на БЛА

других типов, имеющих существенно больший радиус действия и дальность полета. В связи с этим возникает необходимость согласования работы командно-управляющей и информационной радиосетей. Эта задача решается в рамках платформы «Гепард».

(Продолжение следует)

---

## Сноски

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультракороткие\\_волны](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. **«Прозрачный» радиомодем** – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования. Радиомодемы данного типа ещё называют телеметрическими, поскольку они обеспечивают минимальное время доступа к радиоканалу и не добавляют к потоку данных служебной информации. ↩
4. **«Пакетирующий» радиомодем** – устройство, выполняющее передачу цифровых данных с их промежуточным преобразованием, разделением на пакеты (определенным образом оформленные блоки данных). Кроме передаваемых данных каждый пакет содержит служебную информацию, обеспечивающую поддержку соответствующего пакетного протокола. ↩