

Выпуск 30-01

ПРИМЕНЕНИЕ УЗКОПОЛОСНЫХ РАДИОМОДЕМОВ УКВ ДИАПАЗОНА НА МОРЕ

В настоящем техническом извещении представлена краткая информация об использовании узкополосных радиомодемов УКВ диапазона для обеспечения боевого применения радиогидроакустических буев и эксплуатации различных технических средств мониторинга морской среды.

Материал предназначен для технических специалистов, занятых разработкой автоматизированных комплексов и систем военного и гражданского назначения, работа которых предусматривает удаленное управление и сбор в реальном масштабе времени данных с использованием распределенных технических средств морского и воздушного базирования, а также организаций, выполняющих работы по сбору данных от надводных и подводных средств объективного контроля морской среды и биоты.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

На протяжении длительного времени диапазон ультракоротких волн (УКВ) является наиболее активно используемым при организации применения кораблей и судов, а также обеспечении судовождения на море.



Корабли ВМФ Российской Федерации и ВМС Народно-освободительной армии Китая в ходе учений в Японском море. Связь между кораблями организована, в том числе, в УКВ диапазоне (<https://news.am/rus/news/718524.html>).

С этой целью международным регулятором выделены номиналы радиочастот в диапазоне 156,050-163,275 МГц, с шагом сетки 25 кГц¹, которые применяются для организации связи в направлениях «берег – корабль» и «корабль – корабль»². Кроме того, 99 радиочастотных каналов в диапазоне 136,00-173,50 МГц с шагом сетки 25 кГц выделены для обеспечения работы радиогидроакустических буйев (РГБ³) в направлении «поверхность – корабль» и «поверхность – борт»⁴. Данные о номиналах радиочастот, выделенных для использования в интересах связи с РГБ, представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Перечень номиналов радиочастот УКВ диапазона, выделенных для использования в интересах связи с РГБ.

№	Частота, МГц	№	Частота, МГц	№	Частота, МГц	№	Частота, МГц	№	Частота, МГц
1	162,25	21	165,625	41	139,375	61	146,875	81	154,375
2	163	22	166,375	42	139,75	62	147,25	82	154,75
3	163,75	23	167,125	43	140,125	63	147,625	83	155,125
4	164,5	24	167,875	44	140,5	64	148	84	155,5
5	165,25	25	168,625	45	140,875	65	148,375	85	155,875
6	166	26	169,375	46	141,25	66	148,75	86	156,25
7	166,75	27	170,125	47	141,625	67	149,125	87	156,625
8	167,5	28	170,875	48	142	68	149,5	88	157
9	168,25	29	171,625	49	142,375	69	149,875	89	157,375
10	169	30	172,375	50	142,75	70	150,25	90	157,75
11	169,75	31	173,125	51	143,125	71	150,625	91	158,125
12	170,5	32	136	52	143,5	72	151	92	158,5
13	171,25	33	136,375	53	143,875	73	151,375	93	158,875
14	172	34	136,75	54	144,25	74	151,75	94	159,25
15	172,75	35	137,125	55	144,625	75	152,125	95	159,625
16	173,5	36	137,5	56	145	76	152,5	96	160
17	162,625	37	137,875	57	145,375	77	152,875	97	160,375
18	163,375	38	138,25	58	145,75	78	153,25	98	160,75
19	164,125	39	138,625	59	146,125	79	153,625	99	161,125
20	164,875	40	139	60	146,5	80	154		

¹ <https://polarstar-nautical.ru/sootvetstvie-kanalov-i-chastot-morskogo-diapazona>

² Здесь и далее под определением «корабль» понимаются как военные, так и гражданские плавсредства различного назначения.

³ **Гидроакустический буй** (также *Радиогидракустический буй, РГБ*) — свободно плавающий или установленный на якорь буй, предназначенный для излучения и/или приема и ретрансляции по радиоканалу гидроакустических сигналов. Применяются с целью обнаружения подводных лодок и других подводных объектов, связи с подводными лодками, а также в научных целях. Как правило, сбрасываются с самолёта, вертолёта или надводного корабля. После попадания в воду в течение определённого времени автоматически приводятся в рабочее положение. При этом из днищевой части поплавка на кабеле опускается на определённую глубину приемник и/или передатчик гидроакустических колебаний. Принятый гидроакустический сигнал по УКВ-радиоканалу ретранслируется на самолет или корабль-носитель в виде частотно-модулированного сигнала.

⁴ Здесь и далее под определением «борт» понимаются пилотируемый или беспилотный летательный аппарат (БЛА).

Отсутствие в морских акваториях постоянно действующей инфраструктуры связи, позволяющей организовать обмен данными в интересах обеспечения научно-исследовательских работ, направленных на изучение морей и океанов, а также их обитателей, обуславливает необходимость поиска приемлемых по возможностям и стоимости технических решений для доставки данных от развернутой в море научной аппаратуры и удаленного управления ею в период проведения экспедиций или на постоянной основе. Для решения большинства таких задач использование узкополосных технологических радиосетей обмена данными УКВ диапазона оказывается практически единственным решением.

Применение технологических радиосетей обмена данными на базе узкополосных радиомодемов диапазона ультракоротких волн на море обусловлено, в первую очередь, практически идеальными характеристиками этого диапазона и разработанного для него радиотехнического оборудования в интересах выполнения широкого круга задач как военного, так и гражданского назначения. Эти характеристики позволяют организовать надежную связь на всю глубину не только территориальных вод, но и внутри всей исключительной экономической зоны⁵ Российской Федерации, при поддержке приемлемой для большинства задач скорости обмена данными и обеспечении высокой надежности их доставки с минимальными финансовыми затратами⁶.

Следует отметить, что, для обеспечения связью надводных и подводных объектов используются также каналы спутниковой связи, работающие в УКВ и СВЧ (сверхвысокие частоты) диапазонах, а также каналы связи коротковолнового диапазона (КВ). Выбор наиболее подходящего средства связи и обмена данными определяется требованиями конкретной прикладной задачи.

2 РАДИОСЕТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ РГБ

Изначально схема применения радиогидроакустических буйев предполагала передачу получаемой ими акустической информации в реальном масштабе времени на носитель, в качестве которого выступали противолодочный самолет, вертолет или корабль, в виде частотно-модулированного аналогового сигнала. Совершенствование этой схемы и собственно РГБ предусматривает использование новых технологий, в том числе, в области связи и передачи данных. Так, российскими разработчиками получен патент на «Радиогидроакустический буй на микроконтроллерах»⁷. Наряду с новыми возможностями в части функционирования собственно РГБ, основными из которых являются повышение вероятности обнаружения цели и скрытности использования буя, а также увеличение времени его работы, появление в его составе микроконтроллера позволяет серьезно усовершенствовать систему связи такого изделия, сделав ее цифровой.

⁵ **Исключительная экономическая зона** - район, находящийся за пределами территориального моря и прилегающий к нему, подпадающий под действие особого правового режима. Ширина его не может превышать 200 морских миль (370,4 км), отсчитываемых от исходных линий.

⁶ Сравнительный анализ использования радиотехнического оборудования спутниковой связи и технологической радиосети обмена данными представлено в Приложении 1.

⁷ Патент № RU2659347C1, авторы: В.Н. Долгих, «Тихоокеанский военно-морской институт им. С.О. Макарова»; Е.А. Сторожок, ФГКВОУ ВО «Тихоокеанское Высшее Военно-Морское Училище Имени С.О. Макарова» Министерства Обороны Российской Федерации; С.В. Попов, ОАО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (ОАО «Российские космические системы») <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37375882>.


Рассматриваемый буй на микроконтроллерах предусматривает запись акустического сигнала в память микроконтроллера, а затем обратное преобразование его в аналоговую форму для трансляции через радиопередатчик. В случае применения радиомодема необходимость в таком дополнительном промежуточном преобразовании сигнала отпадает, поскольку радиомодем обеспечивает передачу цифровых данных непосредственно из памяти микроконтроллера в радиоканал, а реализация имеющихся и хорошо отработанных протоколов обмена данными позволяет сформировать надежную и простую в использовании технологическую радиосеть⁸ обмена данными. Стоимость такого технического решения также оказывается вполне приемлемой, поскольку составляет не более 12% стоимости собственно РГБ.

Радиосеть обеспечения работы РГБ может строиться на современных радиомодемах двух типов: «прозрачных»⁹ и «пакетирующих»¹⁰. Применение обоих типов позволяет существенно расширить возможности по управлению их применением и доставке данных на борт носителей, которые могут быть как пилотируемыми, так и беспилотными. В последнем случае управление собственно носителями может производиться также посредством технологической радиосети обмена данными, а сами они выступать в качестве ретрансляторов сигналов от РГБ.

2.1 Технологическая радиосеть обеспечения работы РГБ на «прозрачных» радиомодемах

Технические характеристики «прозрачного» радиомодема «Гепард-100И» отечественной разработки представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики радиомодема «Гепард-100И».

«Гепард-100И»	
Общие характеристики	
Диапазон частот, МГц	146-174

⁸ **Технологическая сеть связи** ([англ. private network](#), прежнее название – *ведомственная или корпоративная*) – 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].

⁹ **«Прозрачный» радиомодем** – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования. Радиомодемы данного типа еще называют телеметрическими, поскольку они обеспечивают минимальное время доступа к радиоканалу и не добавляют к потоку данных служебной информации.

¹⁰ **«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.

Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50, 25, 12,5
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)
Габаритные размеры (Ш x Г x В), см	17,0 x 16,0 x 6,1
Масса (в упаковке), кг	1,2
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), RJ45 Ethernet, USB
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2; 32
Индикация	Питание, состояние, подключение к оконечному оборудованию, прием/передача

Радиомодем «Гепард-100И» представляет собой «прозрачное» 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.

«Прозрачная» технологическая радиосеть обеспечения работы РГБ позволяет:

- удаленно многократно включать и выключать любой РГБ в заданной последовательности и с любой задержкой. В настоящее время РГБ включается в работу автоматически сразу после приведения и активации батареи питания;
- производить удаленную настройку рабочих параметров буя;
- транслировать управляющие сигналы, например, сигналы единого времени для синхронизации работы всех подключенных к радиосети РГБ, или команд на изменение глубины погружения гидрофона. Выполнение такой команды связано с необходимостью иметь на борту РГБ соответствующие технические устройства, позволяющие выполнить такую операцию, но это уже определяется разработчиком РГБ – радиосеть дает ему такую возможность;
- передавать оперативно срочные сигналы, например, на самоликвидацию.

Оптимизация радиомодема «Гепард-100И» с целью использования для обеспечения работы РГБ может идти по направлению снижения его массогабаритных характеристик. Так лучшие образцы зарубежного оборудования такого класса имеют в пять раз меньшую массу изделия в корпусе - до 0,2 кг. Кроме того, конструкция вышеуказанного радиомодема предполагает возможность реализации функции работы в режиме энергосбережения. Дополнительная экономия электроэнергии на борту РГБ может быть также достигнута за счет предварительной обработки микроконтроллером полученных акустических данных и передачи на носитель по радиосети только той информации, которая представляет интерес. Такой алгоритм функционирования дополнительно повышает скрытность применения РГБ.

Трансляция сигналов от РГБ может производиться непосредственно на борт пилотируемого или беспилотного носителя, либо через ретранслятор, в качестве которого могут выступать как пилотируемые, так и беспилотные воздушные или надводные средства. При этом в случае применения ретранслятора зона оперативного применения РГБ может быть существенно расширена, а координация работы отдельных буев позволит сформировать из

них мобильную (дрейфующую) гидроакустическую решетку с более высокими характеристиками по обнаружению и сопровождению подводных объектов.

В настоящее время РГБ рассматриваются в качестве «расходного материала», то есть, средства одноразового применения, что предполагает их массовое приобретение и хранение на складах. Так, только в текущем году заключены дополнительные контракты на производство и поставку в общей сложности 18000 серийных гидроакустических буев AN/SSQ-125A на общую сумму более 220 миллионов долларов США¹¹. Оснащение перспективных РГБ средствами «прозрачной» радиосети обмена данными не окажет существенного влияния на их стоимость, а необходимость оснащения данными средствами носителей приведет к дополнительному снижению стоимости радиотехнического оборудования при освоении отечественной промышленностью выпуска современного связного оборудования двойного назначения¹².

2.2 Технологическая радиосеть обеспечения работы РГБ на «пакетирующих» радиомодемах

Технические характеристики «пакетирующего» радиомодема «Гепард-100С» отечественной разработки представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Технические характеристики радиомодема «Гепард-100С».

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-100С»
Диапазон частот, МГц	146-174
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)
Габаритные размеры (Ш x Г x В), см	17,0 x 16,0 x 6,1
Масса (в упаковке), кг	1,4
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), Ethernet RJ-45, USB
Скорость, кбит/с	16; 24; 32; 48; 64; 96; 192

¹¹ <https://flotprom.ru/2021/%D0%A1%D1%88%D0%B0223/>

¹² Технический бюллетень ООО «НЦПР», извещение 09: «Области применения технологических радиосетей обмена данными на базе узкополосных радиомодемов УКВ диапазона», <https://flexlab.ru/technical-bulletin/137-izveshchenie-09-oblasti-primeneniya-tekhnologicheskikh-radiosetej/file>

Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача
Адресация	«прозрачный» или IP
Вспомогательные беспроводные интерфейсы	3G/4G WiFi IEEE 802.11b/g/n

Радиомодем «Гепард-100С» представляет собой «пакетирующее» устройство. В дополнение к вышеупомянутым последовательным интерфейсам оно имеет полноценный сетевой порт Ethernet, дополнительные встроенные средства обмена данными для работы в составе сотовых сетей связи стандартов 3G/4G (исключаются при оптимизации изделия для работы на море), а также WiFi (IEEE 802.11b/g/n). В действующей схеме радиомодема дополнительно предусмотрена возможность интеграции в его состав спутникового навигационного приемника.

«Пакетирующая» технологическая радиосеть обеспечения работы РГБ в дополнение к перечисленным выше возможностям «прозрачной» радиосети позволяет:

- выполнять удаленную настройку рабочих параметров радиомодема в процессе эксплуатации, например, изменять выходную мощность, что положительно сказывается на экономии изделием энергопотребления;
- обеспечивать автоматическую ретрансляцию данных в направлении «поверхность – носитель» через соседние буи, что увеличивает надежность работы радиосети;
- передавать навигационную информацию о текущем местоположении от приемника спутниковой навигации, включаемого в состав оборудования РГБ или радиомодема;
- формировать помехоустойчивую радиосеть за счет реализации функции помехоустойчивого кодирования;
- повышать надежность доставки данных за счет управления скоростью обмена данными и автоматического выбора индивидуальной скорости обмена данными с конкретным РГБ;
- формировать закрытый канал обмена данными между РГБ и носителями.

Надежность доставки данных приобретает в современных условиях еще большее значение в связи с началом применения на море специализированных средств радиоэлектронной борьбы, например, аналогичных отечественной разработке «Бурак-М»¹³.

Таким образом, возможности «пакетирующей» радиосети обмена данными в полном объеме обеспечивают реализацию любой современной концепции применения РГБ, включая разработанные российскими или американскими специалистами концепции использования с этой целью тяжелых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) совместно с пилотируемыми самолетами базовой патрульной авиации. При этом управление и мониторинг работы БЛА с борта самолетов базовой патрульной авиации могут производиться через узкополосную радиосеть обмена данными УКВ диапазона и гибко передаваться от самолета надводному кораблю или даже противолодочному вертолету, находящемуся в зоне действия радиосети, а использование воздушных ретрансляторов позволит расширить оперативную зону до нескольких сотен километров.

¹³ <https://naukatehnika.com/burak-m-specialnye-bui.html>

Естественно, к такой радиосети могут быть дополнительно подключены малоразмерные или крупногабаритные пилотируемые или беспилотные надводные и подводные (полупогружаемые¹⁴) средства. При этом обмен данными между ними может быть организован как под управлением единого центра, так и автономно для автоматической координации внутри заданной группы средств.



Перспективная концепция поиска и уничтожения подводных лодок с применением БЛА (https://ai-news.ru/2021/04/stajnoe_oruzhie_minoborony_v_poiske_protivolodochnogo_drona.html).

Важным требованием к такой системе является формирование надежной информационной сети, обеспечивающей ее работу. В настоящее время рассматривается возможность использования с этой целью спутниковых каналов обмена данными, однако в полномасштабной войне такие каналы могут оказаться недоступны в результате воздействия средств поражения или противодействия противника. Технологическая радиосеть в этом случае будет иметь более высокую живучесть и устойчивость, поэтому представляется целесообразным ее применение в качестве основной или резервной.

В составе перспективной американской системы поиска и уничтожения подводных лодок предусматривается использование палубного БЛА вертолетного типа MQ-8C, который наряду со средствами обнаружения сможет нести и средства поражения подводных лодок.

¹⁴ Технический бюллетень ООО «НЦПР», извещение 08: «Управление работой полупогружаемых автономных подводных аппаратов с использованием узкополосных радиомодемов УКВ диапазона», <https://flexlab.ru/technical-bulletin/134-izveshchenie-08-upravlenie-rabotoj-polupogruzhaemykh-avtonomnykh-podvodnykh-apparatov-s-ispolzovaniem-uzkopolosnykh-radiomodemov-ukv-diapazona/file>



Американский БЛА MQ-8С с двумя контейнерами для гидроакустических буев (<https://nplus1.ru/news/2021/02/05/submarine>).

В связи с расширением функциональных и оперативных возможностей перспективных РГБ, обеспечиваемого внедрением современных технологий в области гидроакустики и искусственного интеллекта, их стоимость может существенно возрасти, что приведет к необходимости обеспечения эвакуации таких РГБ из района боевого применения после выполнения поставленных задач с целью повторного использования. Выполнение такой эвакуации может производиться пилотируемыми и беспилотными надводными и подводными (полупогружаемыми), а также воздушными аппаратами вертолетного типа по данным о текущем местоположении, передаваемым с РГБ по каналам узкополосной технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона. Наличие данных о точном текущем местоположении буя существенно облегчает выполнение этой задачи.

(Продолжение следует)

ООО «Независимый исследовательский центр
перспективных разработок» (НЦТР)

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

<http://www.flexlab.ru>