

Технологическая радиосеть обеспечения применения телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

Технический бюллетень 23

Технологическая радиосеть обмена данными в диапазоне ультракоротких волн (УКВ) представляет собой эффективный и гибкий инструмент для организации связи в реальном масштабе времени на относительно большие расстояния на земле, под землей, в воздухе (космосе) и на воде. В настоящем техническом бюллетене представлена информация о применении такой радиосети для обеспечения работы телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов при решении комплекса оперативных задач в интересах различных организаций и ведомств.

Более детальная информация и консультационная помощь при создании технологических радиосетей для аналогичных приложений предоставляются по запросу.

Необитаемые подводные аппараты (НПА) используются для решения широкого круга задач как гражданского, так и военного назначения. Применение различного рода НПА (автономных, телеуправляемых или буксируемых) позволяет проводить различные научные (геологические, биологические, океанографические, геофизические, геохимические, акустические, оптические) исследования¹, а также исследования в интересах рыбного хозяйства, аварийно-спасательные, подводно-технические работы и работы военного назначения.

В данном бюллетене рассматривается применение телеуправляемых подводных аппаратов (ТНПА).

[изображение отсутствует: 7ff1f172682a-300.jpg]

[изображение отсутствует: 3236d60f702f-448.jpg]

Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. (Фото с сайтов <http://morspas.com/assis/rov> и <https://fireman.club/statyi-polzovateley/distancionno-telepravlyaemyj-podvodnyj-apparat-klasificaciya-podvonix-apparatov>)

Мы благодарим Шилина Михаила Михайловича, кандидата технических наук, доцента кафедры [морских информационных систем и технологий](#) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», а также Костина Максима Юрьевича, инженера 2 категории Концерна «МПО «Гидроприбор» за помощь в подготовке данного выпуска бюллетеня.

В настоящее время типовая схема управления телеуправляемыми необитаемыми подводными аппаратами предполагает использование комплекса управления, включающего в себя размещаемую на судне-носителе систему удаленного управления, кабельную систему обмена данными, включающую в себя катушку (кабельную лебедку) с кабелем и размещаемую на ТНПА аппаратную катушку с кабелем, и бортовой блок телеуправления. В процессе работы ТНПА «привязан» к судну-носителю кабелем, по которому в реальном масштабе времени поддерживается связь. По кабелю передаются данные от гидроакустических, магнитометрических и оптических (видео- или фотокамеры) средств обнаружения, а

также управляющие команды. Обычно в процессе работы максимальное удаление ТНПА от судно-носителя составляет сотни метров, при этом рабочая глубина аппарата может достигать нескольких километров.

Вариант организации управления работой ТНПА с использованием кабеля представлен на Рис. 1².

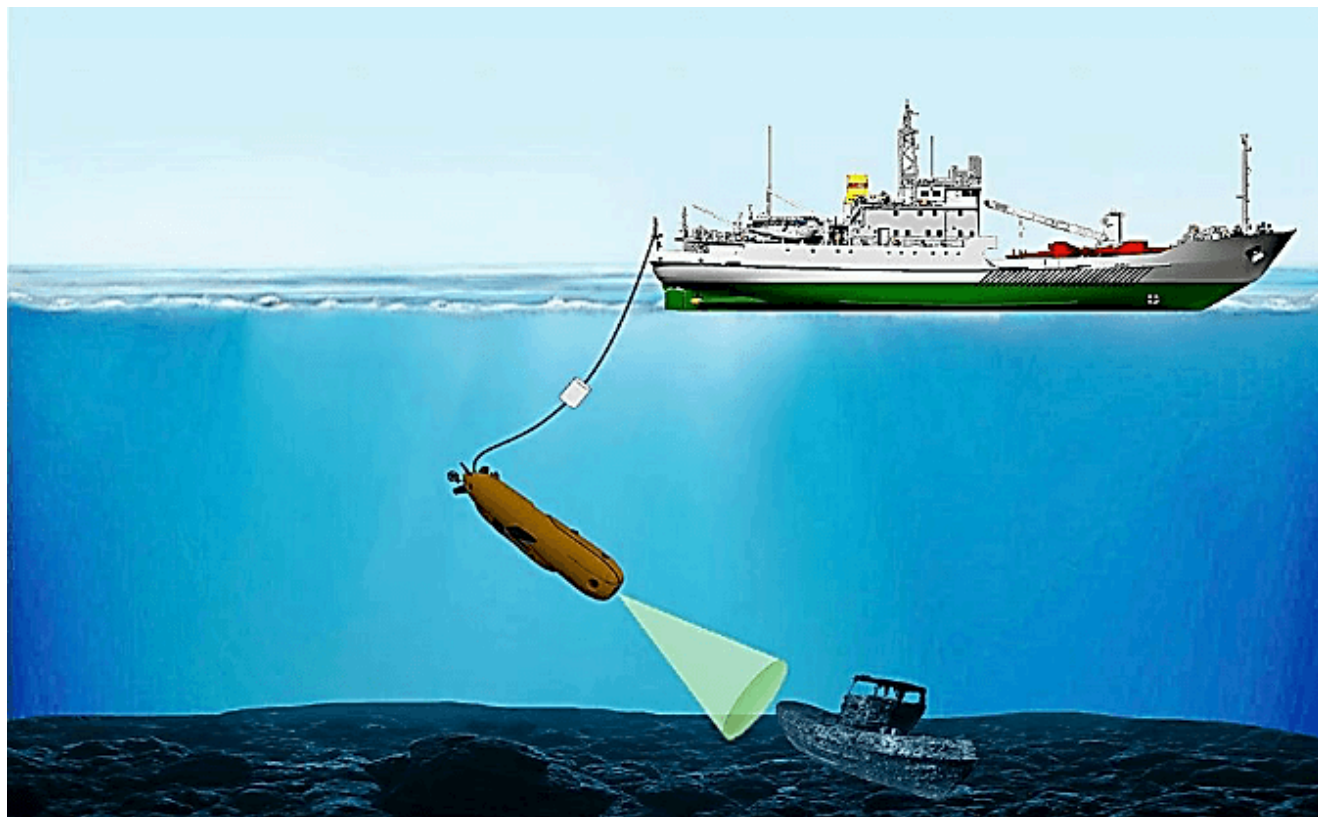


Рис. 1. Вариант организации управления работой ТНПА с использованием кабеля.

Характер выполняемых ТНПА работ по одному из основных предназначений — поиску и обследованию затонувших объектов — предполагает действия в заранее определенной зоне. В случае, когда точные данные о нахождении заданного объекта неизвестны, размеры зоны поиска оказываются значительными, а время для ее обследования с помощью одного аппарата недопустимо продолжительным. При использовании существующей схемы судно-носитель не может удалиться от ТНПА на расстояние, превышающее длину кабеля телеуправления, а одновременное использование нескольких ТНПА для повышения производительности выполняемых работ затруднено.

Исключить вышеупомянутые ограничения позволяет внедрение радиоканала обмена данными. Например, в настоящее время такую схему реализовал Концерн «НПО «Аврора» в своём автономном НПА с использованием широкополосного канала обмена данными диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) стандарта IEEE 802.11 (WiFi), при нахождении НПА в надводном положении. В соответствии с данным стандартом, гарантированная дальность обмена данными в таком канале на открытой местности составляет порядка 150 метров. По заявлению разработчиков, за счёт использования дополнительных настроек удаётся увеличить дальность работы до 1200 метров, но при этом надёжность работы радиоканала на дальности, близкой к предельной, оказывается невысокой.

Принципиального увеличения дальности надёжной связи с подводным аппаратом удаётся достичь за счёт использования радиомодемов УКВ диапазона. В зависимости от высоты установки приёмопередающей антенны на судне-носителе номинальная дальность канала связи составит не менее 12 км. При этом предполагается использовать следующую схему: интегрированный с ТНПА связной буй всплывает на поверхность воды после погружения по команде бортового контроллера. Оставаясь на поверхности воды, он обеспечивает связь с системой удалённого управления, расположенной на судне-носителе по радиоканалу (радиосети), и с аппаратным блоком телеуправления ТНПА через кабельную линию.

Данное решение реализуется в настоящее время специалистами АО «Концерн «МПО-Гиброприбор» и Санкт-Петербургского государственного Морского Технического Университета.

Вариант организации управления работой ТНПА с использованием радиоканала представлен на Рис. 2².

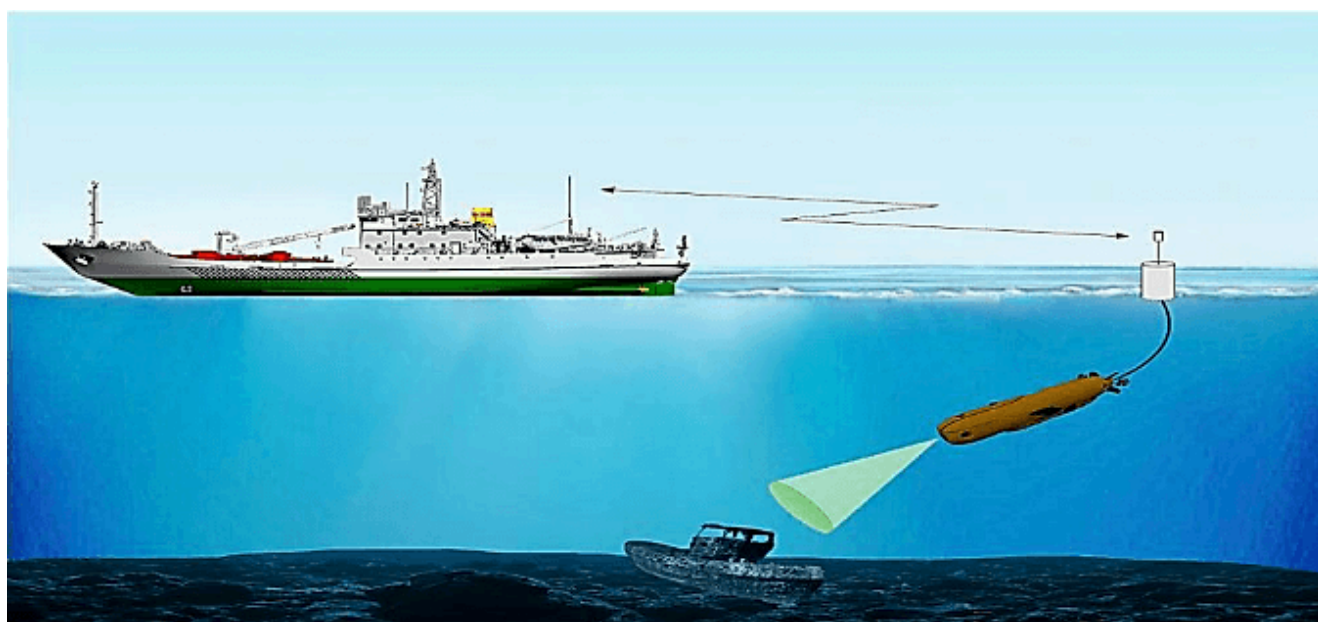


Рис. 2. Вариант организации управления работой ТНПА с использованием радиоканала.

На судне-носителе установлена серийно выпускаемая всенаправленная антенна «в морском исполнении». Она соединяется кабелем с судовым радиомодемом, к которому подключается переносной пульт дистанционного управления, с которого оператор связывается с ТНПА, находясь в любой точке судна-носителя или даже вне его.

Антенна буй является гибкой, что позволяет компактно размещать её в скрученном состоянии внутри буй. Раскрытие антенны производится автоматически после всплытия связного буй перед началом эксплуатации ТНПА.

На первом этапе для организации радиоканала применяется радиомодем Guardian-100, технические характеристики которого представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики радиомодема Guardian-100.

Общие характеристики	Радиомодем Guardian
	[изображение отсутствует: 704afa0653e0-570.png]
	ОВЧ
Диапазон частот, МГц	136-174
Шаг сетки частот, кГц	25 или 12,5 (настраивается программно)
Тип излучения	9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D
Потребляемый ток:	
- приём, мА	360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В)
- передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)
- передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2-3,6 (10 В); 0,6-1,8 (20 В); 0,4-1,2 (30 В)
Номинальная задержка при холодном старте, с	20
Рабочее напряжение, В	10-30, постоянный ток
Рабочая температура, °С	от -30 до 60
Температура хранения, °С	от -45 до 85
Влажность, %	5-95 (без образования конденсата)
Габаритные размеры, см	13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)
Масса (в упаковке), кг	1,1
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс, дуплекс
Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:	
- 25 кГц	-100 (19,2 кбит/с), -107 (9,6 кбит/с), -110 (4,8 кбит/с)
- 12,5 кГц	-107 (9,6 кбит/с), -110 (4,8 кбит/с)
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	60/12,5 кГц; 70/25 кГц
Интермодуляция, дБ	>75
Избирательность, дБ	>70/25 кГц; >60/12,5 кГц
Передатчик	
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10
Время атаки, мс	<1
Время переключения между каналами, мс	<15

Общие характеристики	Радиомодем Guardian
	[изображение отсутствует: 704afa0653e0-570.png]
	ОВЧ
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Интерфейсы	RS-232 (DB9)
Антенна	TNC (мама) – приём/передача, SMA (мама) – приём (для дуплексных моделей)
Модем	
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача
Вид модуляции	2FSK

Выбор данного модема для решения стоящей задачи был сделан с учётом существующих возможностей системы управления ТНПА и применяемых последовательных интерфейсов. При этом скорость обмена данными в технологической радиосети позволяет надёжно доводить управляющие команды на борт ТНПА и принимать от последнего информацию с размещённых на нём средств обнаружения различных типов (кроме видеокамер). Данный этап предполагает проведение натурных испытаний с целью оценки и совершенствования варианта организации системы управления, работы всех компонентов и дальности канала связи.

Применение интегрированного в систему управления ТНПА связного буя, наряду с расширением возможностей по обмену данными между ТНПА и судном-носителем, позволяет упростить и повысить точность навигации за счёт использования данных от средств глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS)³, размещаемых внутри буя и способных принимать сигналы на постоянной основе, либо сеансами, в зависимости от выполняемой задачи.

Одновременное использование нескольких ТНПА может обеспечиваться средствами технологической радиосети обмена данными, реализованной на описанном выше оборудовании. Учитывая пропускную способность радиосети на радиомодемах Guardian при работе на номинальную дальность 12 км, после модернизации управляющего программного обеспечения, допускается одновременное применение нескольких ТНПА. Это обеспечивает следующие преимущества при выполнении основных задач оперативного предназначения:

- свободу перемещения судна-носителя вследствие отсутствия прямой связи с ТНПА через кабель;
- расширение зоны действия ТНПА;
- одновременного решения задач оперативного предназначения в нескольких зонах;
- сокращение необходимого наряда судов для выполнения поставленной задачи;

- отсутствие привязки оператора телеуправления к бортовой системе телеуправления².

По оценке специалистов, существенное расширение возможностей существующей системы удалённого управления ТНПА может быть достигнуто за счёт применения более современных сетевых протоколов и интерфейсов. В качестве наиболее перспективных рассматриваются протокол IP и интерфейс Ethernet. Их использование позволит организовать не только надёжное одновременное управление группой аппаратов в расширенной зоне ведения поиска, но и обеспечить непрерывный контроль технического состояния электронного оборудования ТНПА с возможностью его удалённой подстройки.

Вариант организации одновременного управления работой группы ТНПА с использованием радиоканала представлен на Рис. 3².

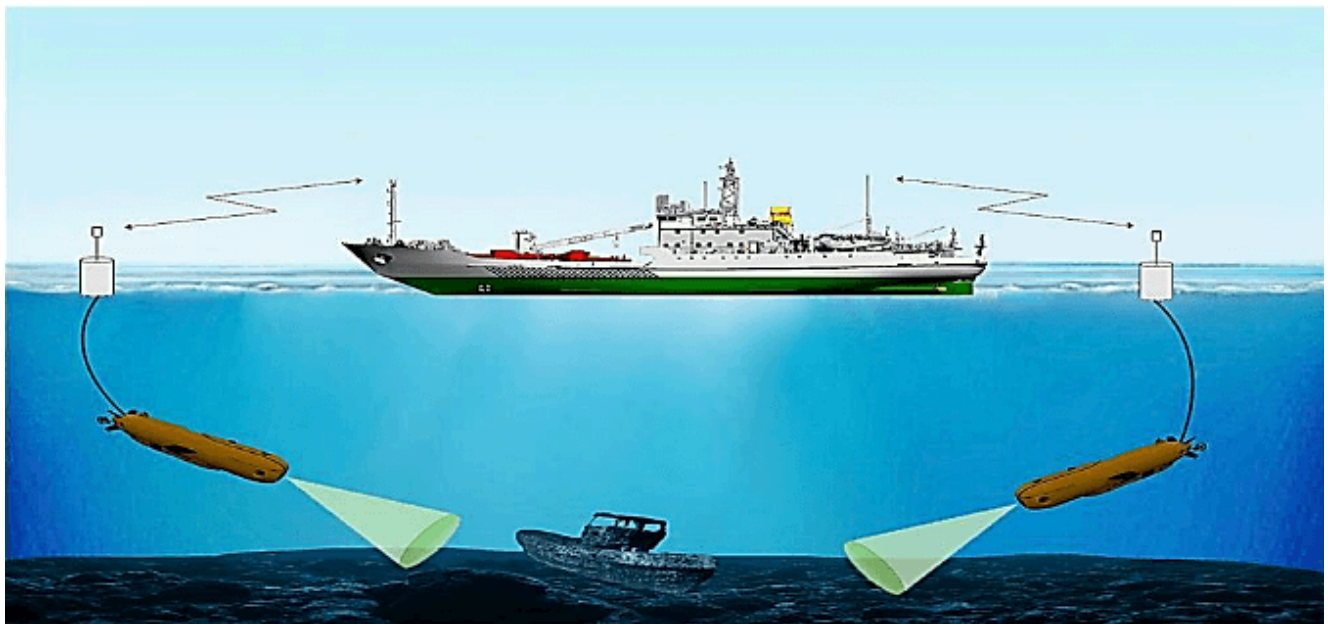


Рис. 3. Вариант организации одновременного управления работой группы ТНПА с использованием технологической радиосети.

Реализация такого варианта применения ТНПА повышает требования к обеспечивающей их работу технологической радиосети обмена данными. В этом случае предполагается переход к использованию радиомодемов радиотехнической платформы Viper-SC+, имеющих более высокую скорость обмена данными и поддерживающими работу по IP-протоколу. Технические характеристики радиомодемов радиотехнической платформы Viper-SC+ представлены в Таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Технические характеристики базового радиомодема Viper-SC+ base station.

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
	[изображение отсутствует: 4906de48530f-457.png]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Диапазон частот	136-174 МГц	215-240 МГц	406-470 450-512 МГц	928-960 МГц

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
	[изображение отсутствует: 4906de48530f-457.png]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Шаг сетки частот	50; 25; 12,5 или 6,25 кГц (настраивается программно)			50, 25 или 12,5 кГц
Тип излучения	6K00F1D, 9K30F1D, 15K3F1D			
Номинальная задержка при холодном старте	60 с			
Рабочее напряжение	10-30 В постоянного тока			
Рабочая температура	-30 град. С до +60 град. С			
Температура хранения	-45 град. С до +85 град. С			
Влажность	5-95% без образования конденсата			
Габаритные размеры	41 (Ш) x 12 (Г) x 29 (В) см			
Масса (в упаковке)	5,2 кг			
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс			
Передатчик				
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1-470 МГц); 62 (450-512 МГц)	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10			1-8
Время переключения с передачи на приём, мс	<1			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Импеданс, Ом	50			
Цикл работы на передачу, %	100			
Стабильность частоты, ppm	1,0	0,5	1,0	0,5
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), 2 x 10Base-T RJ-45			
Антенна	N-типа (мама)			
Приемник				
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):				

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
	[изображение отсутствует: 4906de48530f-457.png]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
- 100 кГц, дБм	-	-103 (64 кбит/с); -96 дБм (192 кбит/с); -89 дБм (256 кбит/с)	-	-100 (64 кбит/с); -93 (192 кбит/с); -86 дБм (256 кбит/с)
- 50 кГц, дБм	-111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с); -97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с)			-108 (32 кбит/с); -101 (64 кбит/с); -94 (96 кбит/с); -85 (128 кбит/с)
- 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)			-111 (16 кбит/с); -104 (32 кбит/с); -97 (48 кбит/с); -89 (64 кбит/с)
- 12,5 кГц, дБм	-116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с); -102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)			-112 (8 кбит/с); -106 (16 кбит/с); -99 (24 кбит/с); -90 (32 кбит/с)
- 6,25 кГц, дБм	-115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с); -100 (12 кбит/с)			
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45/6,25 кГц; 60/12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц			60 /12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц
Интермодуляция, дБ	>75			
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)			
Время переключения с приёма на передачу, мс	<2			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Модем				

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
	[изображение отсутствует: 4906de48530f-457.png]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256			
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача			
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK			
Адресация	IP			

Таблица 3. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+.

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
	[изображение отсутствует: 0ba95106695d-437.jpg]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Диапазон частот, МГц	136-174	215-240	406-470 450-512	880-902 928-960
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
Тип излучения	3K30F1D; 11K2F1D; 16K5F1D; 17K8F1D; 33K0F1D; 52K7F1D			
Потребляемый ток:				
- приём, мА	450 (10 В); 240 (20 В); 170 (30 В)			
- передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2, 04 (20 В); 1,37 (30 В)			
- передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2-3,6 (10 В); 0,6-1,8 (20 В); 0,4-1,2 (30 В)			
Номинальная задержка при холодном старте, с	35			
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)			
Температура по спецификации, град. С	от -30 до +60			
Рабочая температура, град. С	от-40 до +70			
Температура хранения, град. С	от-45 до +85, без образования конденсата			
Влажность, %	5-95, без образования конденсата			
Габаритные размеры, см	13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)			
Масса (в упаковке), кг	1,1			
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс			
Передатчик				

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
	[изображение отсутствует: 0ba95106695d-437.jpg]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1-470 МГц); 62 (450-512 МГц)	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10			1-8
Время переключения с передачи на приём, мс	<1			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Импеданс, Ом	50			
Цикл работы на передачу, %	100			
Стабильность частоты, ppm	1,0	0,5	1,0	0,5
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45			
Антенна	TNC (мама) - приём/передача; SMA (мама) - приём (для двухпортовых устройств)			
Приемник				
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):				
- 100 кГц, дБм	-	-103 (64 кбит/с); -96 дБм (192 кбит/с); -89 дБм (256 кбит/с)	-	-100 (64 кбит/с); -93 (192 кбит/с); -86 дБм (256 кбит/с)
- 50 кГц, дБм	-111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с); -97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с)			-108 (32 кбит/с); -101 (64 кбит/с); -94 (96 кбит/с); -85 (128 кбит/с)
- 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)			-111 (16 кбит/с); -104 (32 кбит/с); -97 (48 кбит/с); -89 (64 кбит/с)

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
	[изображение отсутствует: 0ba95106695d-437.jpg]			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
- 12,5 кГц, дБм	-116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с); -102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)			-112 (8 кбит/с); -106 (16 кбит/с); -99 (24 кбит/с); -90 (32 кбит/с)
- 6,25 кГц, дБм	-115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с); -100 (12 кбит/с)			
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45/6,25 кГц; 60/12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц			60 /12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц
Интермодуляция, дБ	>75			
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)			
Время переключения с приёма на передачу, мс	<2			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Модем				
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256			
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача			
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK			
Адресация	IP			

Следует отметить, что радиомодемы Guardian и Viper-SC+ имеют унифицированный корпус и одинаковую схему крепления, поэтому установка последних внутрь связного бую не потребует доработки его конструкции.

Радиосеть может быть реализована с использованием только радиомодемов Viper-SC+, либо с установкой на судне-носителе профессиональной базовой станции Viper-SC+ base station (определяется возможностью установки оборудования размером 19", что, обычно, не представляет трудности). В последнем случае можно повысить надёжность работы радиосети за счет использования встроенной функции автоматического выбора скорости обмена данными в зависимости от уровня мощности принимаемого сигнала. По мере удаления от судна-носителя радиосигнал будет терять свою мощность. В радиосети на радиомодемах Viper-SC+ для поддержания связи на увеличенную дальность придется в ручном режиме подбирать оптимальную скорость обмена данными. Базовая станция будет выполнять эту функцию автоматически, поддерживая надёжный обмен данными с изменением дальности до ТНПА.

По оценке разработчиков, технические характеристики радиоканала позволяют эффективно управлять аппаратом при решении широкого спектра оперативных задач. Среди них поиск и инспекция стационарных подводных потенциально опасных объектов, освещение подводной обстановки, включая контроль подвижных подводных объектов за счёт использования быстро устанавливаемых/сворачиваемых гидроакустических решёток, связь с которыми может поддерживаться также по каналам узкополосной технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона.

Более высокая пропускная способность технологической радиосети на радиомодемах Viper-SC+ позволяет установить на борту ТНПА и успешно использовать дополнительные средства обнаружения, включая видеокамеры. Использование более высокой скорости обмена данными, необходимой для передачи видеосигнала, будет сопровождаться сокращением дальности работы, но она всё равно будет в несколько раз выше, чем при применении WiFi или альтернативного гидроакустического канала связи.

Следует отметить, что описанный в настоящей статье способ обмена данными может эффективно использоваться и для связи с автономными НПА. Информацию о такой системе мы предоставим в одной из наших следующих статей.

Выводы:

1. Связь между судном-носителем и телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом может быть организована с помощью современных узкополосных радиомодемов, работающих в диапазоне ультракоротких волн. Такой вариант позволяет увеличить дальность работы и расширить рабочую зону ТНПА с существующих 1,2 км до 12 км и более.
2. Использование узкополосной технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона позволяет существенно расширить возможности современных судов-носителей за счёт обеспечения управления одновременной работой нескольких ТНПА, действующих в одной или различных оперативных зонах.
3. По оценке специалистов, использование предложенных вариантов организации управления подводными аппаратами позволяет повысить эффективность операций с использованием ТНПА и существенно снизить финансовые затраты на их проведение за счёт сокращения необходимого наряда судов-носителей и значительного расширения зоны, выполнение задач в которой производится одним судном. При этом может быть многократно сокращены сроки выполнения задач оперативного предназначения.

Сноски

1. Ястребов В. С., Игнатъев М. Б., Кулаков Ф. М., Михайлов В. В. Подводные роботы / под общ. ред. В. С. Ястребова – Л.: Судостроение, 1977 г. – 368 с. [↩](#)
2. Костин М.Ю., Шилин М.М. Новый подход к телеуправлению необитаемыми подводными аппаратами // Неделя науки СПбГМТУ-2020: сборник докладов Всероссийского фестиваля науки «Наука 0+»: в 2 т. – Т.1. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2020. – с.511-517 [↩](#)
3. **Глобальная навигационная спутниковая система** (GNSS - Global Navigation Satellite System) – спутниковые системы (наиболее распространены GPS и ГЛОНАСС), используемые для определения местоположения в любой точке земной поверхности с применением специальных навигационных или геодезических приемников. GNSS-технология нашла

широкое применение в геодезии, городском и земельном кадастре, при инвентаризации земель, строительстве инженерных сооружений, в геологии. www.nngasu.ru/geodesy/classification/chastnye-klassifikatsii/10_GNSS.php ↪