

Применение Узкополосных Радиомодемов УКВ диапазона в системах точного позиционирования и обеспечения работы подвижных пилотируемых (управляемых) и беспилотных объектов

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В настоящем техническом извещении представлена краткая информация об использовании узкополосных радиомодемов УКВ диапазона в интересах навигационного обеспечения подвижных пилотируемых (управляемых) и беспилотных аппаратов различного назначения, управления ими, контроля функционирования и результатов использования мобильных роботизированных комплексов на земле, на воде и в воздухе.

1. Общие сведения.

Повышение точности навигации для наземных, надводных и воздушных подвижных объектов различного назначения может быть обеспечено несколькими способами, одним из которых является использование дифференциальной коррекции (поправки) к данным от систем спутниковой навигации¹.



Космический элемент глобальной навигационной спутниковой системы (<http://gnss.gnss-expert.ru/gnss-status/>)

Информация о существующих Системах дифференциальной коррекции глобальных навигационных спутниковых систем (СДК ГНСС) представлена в Таблице 1.

1. Классификация СДК ГНСС (<https://www.roscosmos.ru/22054>).

Параметры	Системы функциональных дополнений			
	Локальные дифференциальные системы	Региональные дифференциальные системы	Широкозонные системы дифференциальной коррекции	Глобальные системы дифференциальной коррекции
Состав	- Одна или несколько станций сбора измерений ¹ - Канал передачи данных	- Сеть станций измерений - Каналы передачи данных - Вычислительный центр	- Региональная сеть станций измерений - Каналы передачи данных - Вычислительный центр - Наземный комплекс управления	- Глобальная сеть станций измерений - Каналы передачи данных - Вычислительный центр - Наземный комплекс управления
Корректирующая информация	- Поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем - Информация о целостности системы ²	- Поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем - Информация о целостности системы	- Поправки к эфемеридно-временной информации ³ - Поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем - Информация о целостности системы	- Поправки к эфемеридно-временной информации - Поправки для исключения атмосферных искажений сигнала - Поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем - Информация о целостности системы
Каналы передачи	Наземные линии передачи данных ⁴	Наземные линии передачи данных	Космические аппараты связи и ретрансляции	Космические аппараты связи и ретрансляции
Зона действия	50-200 км	400-2000 км	2000-5000 км	Глобальное покрытие

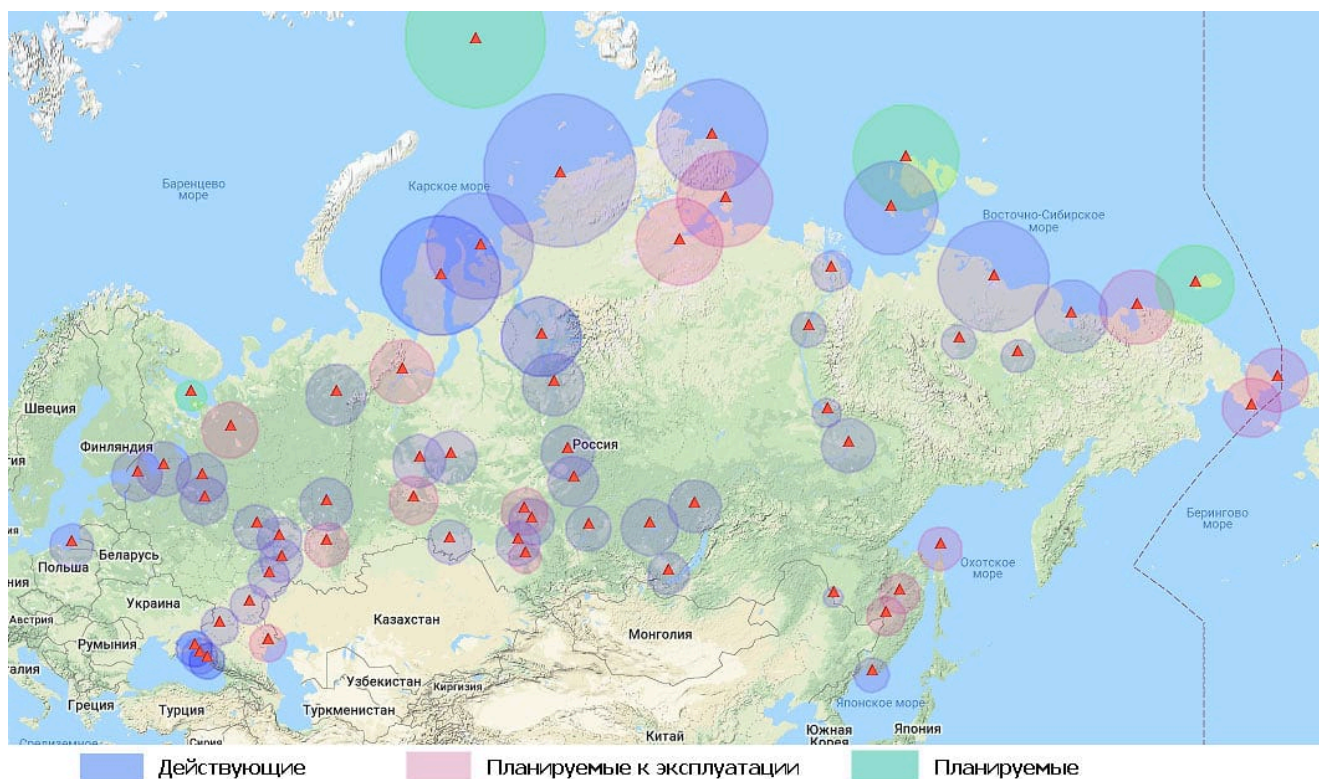
1. Станции сбора измерений – контрольно-корректирующие станции, представляющие собой комплекс высокоточной навигационной аппаратуры, установленные в точках с известными координатами.

2. *Информация о целостности системы – информация о сбоях в работе ГНСС, не обнаруженных или не исправленных ее собственными средствами в процессе эксплуатации. Передача информация о целостности системы предотвращает использование потребителями некорректных навигационных данных.*

3. *Эфемеридно-временная информация – данные для расчёта орбиты космического аппарата и данные бортовых часов.*

4. *Наземные линии передачи данных – УКВ-радиостанции, системы подвижной беспроводной связи или сеть Интернет.*

Наиболее широкий охват на территории Российской Федерации в настоящее время имеет морская компонента системы дифференциальной коррекции, информация о которой представлена на Рис. 1.



Морская дифференциальная подсистема (МДПС) СДК ГНСС (<https://ru.wikipedia.org/wiki>)

Анализ представленных на Рис. 1 данных позволяет сделать простой вывод о том, что даже эта система дифференциальной коррекции не имеет сплошной оперативной зоны и не в состоянии обеспечить потенциальных пользователей на всей территории страны и акватории прилегающих морей. В связи с этим задача создания локальных дифференциальных систем останется актуальной на достаточно глубокую перспективу.

2. Подсистема обмена данными локальной системы дифференциальной коррекции глобальных навигационных спутниковых систем.

Важным элементом, локальной СДК ГНСС является подсистема обмена данными, обеспечивающая доставку навигационных поправок непосредственно мобильным пользователям, в качестве которых выступают пилотируемые (управляемые) и беспилотные аппараты различного назначения. Обычно поправка транслируется в формате RTCM SC-104 (скорость передачи данных — не менее 2400 бит/с,

задержка передачи - не более двух секунд), но допускается применение любых других форматов, включая фирменные, такие как формат NCT компании John Deere. Современные радиомодемы не накладывают никаких ограничений и позволяют транслировать информацию как в виде последовательного потока данных, так и в виде пакетов данных различных форматов, в том числе, по протоколу TCP/IP. Технические характеристики узкополосного радиомодема, применяемого для обмена данными с подвижными пилотируемыми (управляемыми) и беспилотными объектами в локальной СДК ГНСС по последовательному интерфейсу представлена в Таблице 2.

2. Технические характеристики узкополосного радиомодема Guardian, применяемого в локальной СДК ГНСС.

Общие характеристики	Радиомодем Guardian		
	ОВЧ	УВЧ	900 МГц
Диапазон частот, МГц	136-174	406-470, 450-512	928-960
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		Симплекс, полудуплекс
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	64 (406,1-470)	32
		62 (450-512)	
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10		1-8
Время атаки, мс	<1		
Время переключения между каналами, мс	<15		
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		

Впервые узкополосные радиомодемы стали использоваться для трансляции дифференциальной поправки в интересах малой авиации при обработке сельскохозяйственных полей. Оборудование одной из таких систем, развернутых в Канаде, состояло из наземного комплекта, включавшего в себя

навигационный DGPS приемник производства компании Trimble Navigation и внешний модем, подключенный к радиостанции, а также бортовой комплект оборудования в составе навигационного приемника, такого же внешнего модема с радиостанцией и компьютера со специальным программным обеспечением. Такое техническое решение оказалось существенно проще и дешевле применения наземной опорной станции передачи дифференциальных поправок, транслировавшей данные в диапазонах радиочастот, выделенных для работы средств спутниковой навигации, поскольку стоимость такой станции составляла около \$30 000 против \$3000 за вышеуказанный комплект оборудования локальной дифференциальной системы. Дальность действия радиосети, в составе которой использовалось несколько самолетов, составила около 160 км при полете самолетов на минимальной высоте. Необходимый уровень надёжности и большая дальность связи были достигнуты за счет использования помехозащищенного кодирования — функции коррекции ошибок (FEC — forward error correction), позволившей работать с минимальными уровнями радиосигнала. В настоящее время спутниковая навигация широко используется в современных системах точного земледелия, но состав средств обеспечения обмена данными для них существенных изменений не претерпел.

Сегодня технологические радиосети обмена данными УКВ диапазона применяются в составе систем точного земледелия, обеспечивая надежную связь в интересах обеспечения навигации в зонах, где отсутствует соответствующая инфраструктура. Мониторинг сельхозугодий производится, как правило, с использованием малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), позволяющих нести различную полезную нагрузку, связь с которыми поддерживается по широкополосному каналу стандарта IEEE 802.11 (WiFi), либо по узкополосным любительским каналам малой дальности в диапазонах 433 и 868 МГц. Однако, для выполнения сельскохозяйственных работ требуется использование более крупной воздушной и наземной техники, оснащенной высокоточной навигационной системой и профессиональной системой связи, способной функционировать в обширной зоне, составляющей десятки километров. Потребителями такой навигационной системы являются сельскохозяйственные комбайны и тракторные агрегаты, дождевальная установка и вспомогательная техника. Одним из наиболее перспективных пользователей локальной СДК ГНСС становится возрождаемая в настоящее время в России сельскохозяйственная авиация.

Интересный проект в сельском хозяйстве с использованием СДК ГНСС был реализован в Греции. С целью увеличения интенсивности дождевых осадков в заданных районах были использованы специальные самолеты, которые должны были распылять реагенты в дождевых облаках, вызывавших выпадение осадков. В проекте было задействовано семь самолетов, которые получали необходимые для распыления реагентов данные от трех метеорологических радиолокационных станций (РЛС, метеорадаров), размещенных на территории трех аэропортов. Разрешающая способность РЛС не позволяла отслеживать местоположение самолетов в воздухе, особенно при их входе в район выполнения задачи, где грозовой фронт приводил к появлению серьезных помех. В связи с этим была организована передача навигационной информации с борта самолетов с использованием узкополосных радиомодемов УКВ диапазона. Доработанное программное обеспечение позволило отображать поступающие данные на штатном мониторе метеорадара, вместе с метеорологической информацией.


В результате расширения сети опорных станций на территории Российской Федерации, при реализации проектов, связанных с использованием высокоточной навигации, можно рассчитывать на получение дифференциальной поправки в качестве услуги (сервиса) от профильных организаций, в том числе, по каналам сотовой связи, однако, во многих случаях, применение для этой цели технологической

радиосети обмена данными УКВ диапазона оказывается более привлекательным или единственно возможным вариантом. В первую очередь, это относится к пилотируемым и беспилотным воздушным объектам.

3. Радиосеть управления и обмена данными с подвижными пилотируемыми и беспилотными наземными (надводными) и воздушными объектами.

Радиосеть обмена данными с подвижными объектами позволяет не только транслировать дифференциальную поправку в адрес объекта, но и обмениваться с ним различной дополнительной информацией. Такие радиосети имеют более высокую пропускную способность и, как правило, сетевой интерфейс, обеспечивающий пакетный обмен данными по протоколу TCP/IP. В связи с тем, что область применения технологических радиосетей достаточно широка, ниже мы остановимся только на отдельных приложениях, демонстрирующих их возможности. Технические характеристики радиотехнической платформы на базе узкополосного радиомодема с последовательным и сетевым интерфейсами, применяемой для обмена данными с подвижными пилотируемыми (управляемыми) и беспилотными объектами представлены в Таблицах 3 и 4.

3. Технические характеристики базовой станции Viper-SC+, применяемой в радиосети обмена данными с подвижными пилотируемыми (управляемыми) и беспилотными наземными (надводными) и воздушными объектами.

4. Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
				
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Диапазон частот, МГц	136-174	215-240	406-470, 450-512	928-960
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}):				
- 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		
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	

5. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+, применяемого в радиосети обмена данными с подвижными пилотируемыми (управляемыми) и беспилотными наземными (надводными) и воздушными объектами.

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
				
	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				
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)
- 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	

Специалисты ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н.Прянишникова» произвели оценку применения микро- и мини-БЛА ближнего радиуса действия (взлетной массой до пяти килограммов) и легких БЛА малого радиуса действия (массой до 50 кг) в сельском хозяйстве. Результаты данного анализа представлены в Таблице 6.

6. SWOT-анализ «Использование БЛА в сельском хозяйстве Российской Федерации».

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> - Оперативность получения снимков. БЛА позволяют вести съемку даже в условиях облачности, что недоступно спутникам и затрудняет использование авиации. - Возможность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов. - БЛА могут обладать разной степенью автономности — от управляемых дистанционно до полностью автоматических. - Доступность и простота использования. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ограниченное время полета в связи с малой емкостью аккумулятора. - Ограниченный подъемный вес (к примеру, квадрокоптер для сельского хозяйства DJI AgrasMG-1, основной функцией которого является опрыскивание полей, может поднимать не более 10 кг жидкости для орошения). - Плохо управляемы в плохих погодных условиях (сильный ветер, дождь, восходящие потоки воздуха в зоне пожара). - Необходимо соответствующее программное обеспечение, так как количество систем мобильного мониторинга с использованием БЛА является крайне ограниченным и в основном находится на стадии проектов.

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>Возможности</p> <ul style="list-style-type: none"> - Обследование и подкормка вегетирующих посевов, так как во многих случаях такие технологические операции затруднены при высоком стеблестое некоторых культур и невозможности по этой причине использования для этих целей наземных агрегатов. - Опрыскивание посевов химическими препаратами для борьбы с вредителями и болезнями. - Создание электронных карт полей. - Инвентаризация сельхозугодий. - Оценка и контроль объёма выполнения работ. - Отслеживание нормализованного вегетационного индекса с целью эффективного внесения удобрений. - В динамике контролирование состояния посевов сельскохозяйственных культур и оперативное принятие управленческих решений. 	<p>Угрозы</p> <ul style="list-style-type: none"> - Согласно федеральному закону №291-ФЗ от 03.07.2016 «О внесении изменений в воздушный кодекс Российской Федерации» управлять дроном может только внешний пилот с правами. - Необходимо пройти регистрацию БЛА. - Недостаток специалистов. - Перехват управления БЛА, угон. - Недостаточное финансовое обеспечение сельскохозяйственного производства. - Импортное производство БЛА и соответствующего программного обеспечения.

Все указанные выше функциональные задачи могут решаться малой авиацией и легкими БЛА среднего радиуса действия (взлетной массой до 100 кг) и средними БЛА (взлетной массой до 300 кг), имеющими, соответственно, более высокие технические характеристики в части дальности действия (времени полета) и массы полезной нагрузки, применение которых свободно от большинства указанных в Таблице 6 недостатков. При этом контроль и управление одним или сразу несколькими аппаратами может осуществляться без выезда в поле одним оператором из единого стационарного пункта по каналам технологической радиосети обмена данными.

Это же относится и к наземной технике. Независимо от уровня ее автоматизации и роботизации верхнему уровню автоматизированной системы управления или оператору необходимо в реальном времени располагать актуальной информацией о ходе выполнения поставленной задачи, оперативной готовности и техническом состоянии собственно техники, а также иметь возможность удаленно вносить изменения в уже выполняемое задание в зависимости от складывающейся обстановки.

В техническом извещении № 5 «Радиосеть управления автоматизированной системой орошения на радиомодемах Viper-SC+» (<https://flexlab.ru/publications/technical-bulletin/129-izveshchenie-05-radioset-v-sisteme-orosheniya/file>) представлена информация о применении технологической радиосети для обеспечения эксплуатации автоматизированной системы орошения (АСО) американской компании [Valmont Industries, Inc.](http://www.valmont.com), специализирующейся на разработке и производстве широкого спектра оборудования гражданского назначения, применяемого не только в сельском, но и в городском

хозяйстве. Такая радиосеть позволяет ее владельцу интегрировать использование АСО с работой другой сельскохозяйственной техники и оборудования, сформировав современную единую систему управления и контроля выполнения сельскохозяйственных работ. В этом случае, например, данные от входящей в состав АСО метеорологической станции и датчиков состояния почвы становятся доступными всем участникам технологического процесса, а базовая станция радиосети обеспечивает надежную связь с соответствующей сельскохозяйственной и специальной техникой в реальном масштабе времени.

Узкополосные технологические радиосети УКВ диапазона на протяжении многих лет остаются основным средством связи между судами небольшого водоизмещения и малой авиацией в морских акваториях. Самолеты малой авиации используются для ведения разведки косяков рыбы, морского зверя и наводят на их скопления рыболовецкие и промысловые суда. Установленная на борту самолетов малой авиации аппаратура фиксирует местоположение объекта разведки, его размеры и направление перемещения. Эта информация с привязкой к текущему времени и месту передается на борт рыболовецких траулеров и промысловых судов, находящихся в данном районе. Связь между судами и авиационными средствами поддерживается по каналам обмена данными через радиомодемы УКВ диапазона, которые обеспечивают передачу обработанных на борту фотоснимков и вспомогательной цифровой информации. Такая радиосеть не имеет центральной базовой станции, а обмен производится по принципу «каждый с каждым» с возможностью трансляции сообщений для заданной группы пользователей или всем пользователям одновременно по протоколу TCP/IP. Поскольку интенсивность обмена в радиосети относительно низкая, возможные «коллизии» при передаче устраняются средствами применяемого протокола. Дальность связи в направлении «борт-судно» при этом составляет до 250 километров. С 1 января 2021 года выполнение таких работ разрешено и малой авиации Российской Федерации.

В США узкополосные технологические радиосети использовались при проведении серии экспериментов на море, связанных с отработкой технологии обеспечения прокладки подводных продуктопроводов. В рамках данных экспериментов развертывалась временная радиосеть, обеспечивавшая обмен данными между тремя буксируемыми несамоходными судами (баржами), на борту которых были развернуты комплекты аппаратуры, собиравшей информацию о состоянии дна и параметрах окружающей среды в районе планируемой прокладки подводного продуктопровода. Таким образом обеспечивалось взаимодействие между тремя надводными объектами, решавшими одну функциональную задачу. При использовании данной технологии можно было существенно сократить сроки подготовки трубоукладочной баржи «Фортуна» к выполнению работ в интересах проекта «Северный поток-2» в Балтийском море.

На Западном побережье США развернута и действует служба по контролю разливов нефти, которая применяет технологические радиосети при проведении операций по ликвидации последствий таких разливов. В зависимости от масштаба бедствия, к его ликвидации может привлекаться несколько специальных судов-нефтемусоросборщиков, действия которых координируются по данным с самолета. На борту самолета используется инфракрасная камера переднего обзора – тепловизор (FLIR — forward looking infrared), которая регистрирует параметры пятна – его границы и толщину в различных зонах. Полученные снимки с точной привязкой к месту в реальном масштабе времени передаются на борт судов по технологической радиосети, разворачиваемой на период проведения операции. В настоящее

время рассматривается вопрос об использовании БЛА для решения задач контроля состояния акватории и целеуказания при проведении операций по ее очистке. Данная задача представляется весьма актуальной в свете активизации использования Северного морского пути.

В процессе разработки и испытаний новой авиационной техники на одном из авиационных полигонов в Израиле применяется технологическая радиосеть обмена данными между воздушными объектами и полигонным центром управления. Оперативная зона радиосети надежно закрывает зону над территорией и акваторией полигона со стационарной позиции одной базовой станции. Однако, часто испытания приходится проводить с выходом воздушного объекта за пределы полигона. В этом случае, для связи с ним используется ретранслятор, развернутый на борту вертолета. Такая схема организации связи обеспечивает двусторонний обмен данными на дальность более 300 км при полете контролируемого воздушного объекта на малой высоте.

Важным преимуществом технологической радиосети является возможность организации обмена данными не только по схеме «точка — много точек», но и «каждый с каждым» (радиосеть типа Mesh) с автоматической ретрансляцией сообщений между объектами, находящимися за пределами радиовидимости средствами радиомодема, через объект, находящийся в зоне видимости отправителя и получателя сообщения. Пропускная способность радиосети в этом случае существенно снижается, но остается вполне достаточной для большинства практических приложений. Такая радиосеть позволяет эффективно координировать совместные действия групп подвижных объектов на земле, на воде и в воздухе и поддерживать надежную связь с единым или группой центров управления на достаточно больших удалениях.

ВЫВОДЫ:

1. Технологические радиосети обмена данными на базе узкополосных радиомодемов УКВ диапазона являются эффективным средством связи, применяемым в интересах навигационного обеспечения подвижных пилотируемых (управляемых) и беспилотных аппаратов различного назначения, управления ими, а также контроля функционирования и результатов использования мобильных автоматизированных и роботизированных комплексов на земле, на воде и в воздухе. Такие радиосети могут успешно применяться в составе локальных систем дифференциальной коррекции глобальных навигационных спутниковых систем (СДК ГНСС).
2. Задачи трансляции дифференциальной поправки для подвижных пилотируемых (управляемых) и беспилотных аппаратов различного назначения успешно решаются с использованием радиомодемов, имеющих последовательный интерфейс и скорость обмена данными до 19,2 кбит/с. При этом выходная мощность радиомодема должна обеспечивать надежную связь на удаление до 200 км.
3. При удаленном управлении подвижными наземными (надводными) и воздушными пилотируемыми (управляемыми) и беспилотными аппаратами используются узкополосные радиомодемы, поддерживающие работу, преимущественно, по протоколу TCP/IP и обеспечивающие обмен данными на скорости выше 19,2 кбит/с. При этом необходимо учитывать, что различные принципы организации связи (например, реализация режима работы «каждый с каждым») могут приводить к снижению пропускной способности радиосети.

4. Увеличение дальности действия технологической радиосети для подвижных наземных (надводных) и воздушных пилотируемых (управляемых) и беспилотных аппаратов может быть достигнуто за счет использования наземных и воздушных ретрансляторов, а также помехозащищенного кодирования — функции коррекции ошибок (FEC — forward error correction) при обмене сообщениями. Надёжная связь в этом случае может быть организована на дальность более 300 км.

Сноски

1. **DGPS** ([англ. differential global positioning system](#)) или **СДК ГНСС** (Системы Дифференциальной Коррекции Глобальных Навигационных Спутниковых Систем) в русскоязычной литературе встречается так же как **ФД СРНС** (Функциональные Дополнения Спутниковых Радио Навигационных Систем) в англоязычной литературе встречается как **GNSS augmentation**. ↩