

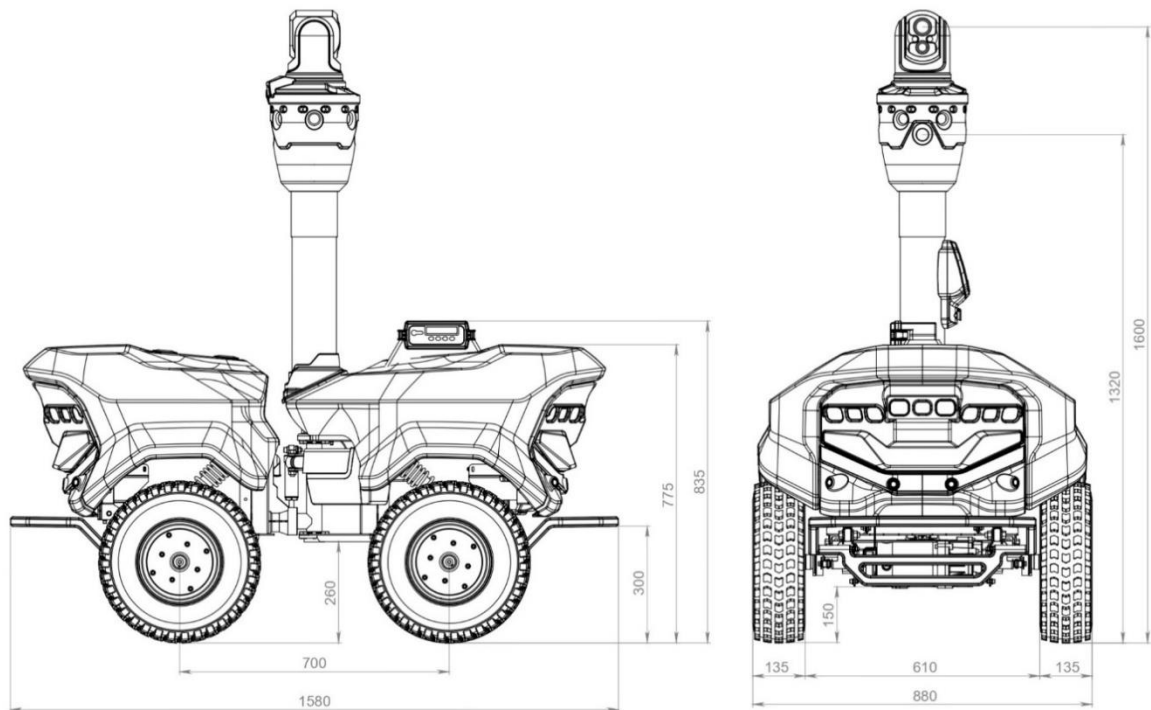
Техническое извещение 16

## РАДИОКАНАЛ В ТЕЛЕУПРАВЛЕНИИ НАЗЕМНЫМИ ПОДВИЖНЫМИ РОБОТАМИ

В настоящем техническом извещении представлена краткая информация о практическом создании и использовании узкополосной технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона в интересах организации командно-управляющей радиосети для мобильных (подвижных) радиотехнических комплексов<sup>1</sup> различного назначения на примере изделий российской компании «СМП роботикс» (г. Зеленоград). В статье использованы данные, полученные в результате натурных испытаний технологической радиосети для удаленного управления автономным подвижным колесным роботом, проведенных на заводском полигоне компании летом 2023 года. Материал предназначен для специалистов, занимающихся созданием интегрированных информационно-управляющих систем в промышленности и на транспорте, предусматривающих применение в их составе наземных подвижных роботов.

### 1. Общая информация

В ходе испытаний была проверена и оценена возможность применения узкополосных радиомодемов УКВ диапазона в интересах организации командно-управляющей радиосети для удаленного управления одним или группой автономных подвижных роботов ООО «СМП роботикс» различного назначения.



Автономный наземный подвижный робот ООО «СМП Роботикс».

<sup>1</sup> Мобильный робототехнический комплекс (робототехнический комплекс) - совокупность программно-алгоритмических и аппаратных решений, обеспечивающих комплексную автоматизацию выполнения группы поставленных задач. Другими словами, совокупность мобильных роботов и систем управления соответствующих мобильных роботов.

Испытания были проведены в статическом состоянии и при движении по пересеченной местности с использованием робота «Инспектор», входящего в состав платформы Т7.

Основные виды информации, передаваемой в командно-управляющей радиосети между оператором/пунктом управления (ПУ) и автономным подвижным наземным роботом, включают в себя:

- сигналы управления движением («ПУ-борт»);
- доклады о действиях робота, 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 робота («ПУ-борт»);
- доклады о техническом состоянии подсистем и агрегатов робота («борт-ПУ»);
- запросы о техническом состоянии полезной нагрузки («ПУ-борт»);
- доклады о техническом состоянии полезной нагрузки («борт-ПУ»).

Краткая информация о роботах, входящих в состав вышеуказанной платформы, представлена в Таблице 1.

Таблица 1. Перечень и назначение автономных подвижных наземных роботов платформы Т7 ООО «СМП Роботикс».

Т7 «Инспектор»	Т7 «Атмосфера»
	
<p>На поворотной платформе робота установлены тепловизионная и обычная камеры, соосно с ними закреплен дистанционный лазерный детектор метана. Робот автоматически наводит камеры на объект с целью обнаружения утечек. Изображение с камер и показания газового детектора передаются оператору по беспроводным каналам связи и сохраняются на борту. При отсутствии возможности передачи данных в процессе движения они скачиваются на сервер информационной системы во время зарядки робота по широкополосному беспроводному каналу связи IEEE 802.11 WiFi. Реализованный алгоритм работы предполагает, что робот в автоматическом режиме перемещается по заданному маршруту, объезжая препятствия, а по завершению выполнения задачи встает на автоматическую</p>	<p>Станция контроля качества воздуха, установленная на борту мобильного робота, позволяет контролировать состав атмосферы на заданной территории по маршруту движения робота и передавать ее оператору по беспроводному каналу обмена данными. Автономные мобильные роботы, оснащенные станциями мониторинга воздуха, позволяют в оперативном режиме и с высокой детализацией получать достоверную информацию об антропогенных выбросах парниковых газов и измерять концентрации следующих веществ: кислород, озон, оксид углерода (угарный газ), диоксид углерода (углекислый газ), метан, формальдегид,</p>

<p>зарядку аккумуляторных батарей. Оператор может оперативно просматривать поступающие от робота мультимедийные данные и вносить изменения в его действия.</p>	<p>оксид азота, диоксид азота, аммиак, диоксид серы, сероводород, фосфин, хлор, цианистый водород.</p>
--	--

Таблица 1. Перечень и назначение автономных подвижных наземных роботов платформы Т7. (продолжение)

Т7 «Курьер»	Т7 «Патруль»
	
<p>Робот предназначен для транспортировки небольших грузов, включая жидкости (например, емкости с пробами) на закрытой территории. Он обладает проходимость, достаточной для надежного движения по заснеженным дорогам и слабо пересеченной местности. Энерговооруженность робота позволяет ему преодолевать расстояния до 15 км при температуре воздуха до <math>-40^{\circ}\text{C}</math> и перевозить груз массой до 30 кг. Отличительной особенностью робота является простота управления. Открытие транспортного отсека и назначение места доставки производятся с установленной на борту клавиатуры.</p>	<p>На мачте мобильного робота установлена управляемая камера высокого разрешения. Благодаря мощному увеличению оптической системы, камера позволяет рассматривать удаленные объекты на расстоянии до 500 метров. Изображение с камеры транслируется по беспроводным каналам связи и сохраняются на борту. Робот дополнительно оснащен рупорным громкоговорителем для звукового оповещения персонала и может перемещаться как в автоматическом режиме, так и под управлением оператора.</p>

## 1. Испытания на борту робота Т7 «Инспектор»

Испытания были разбиты на два этапа – лабораторные, которые были проведены в закрытом помещении (цеху) и натурные, организованные и проведенные на открытом полигоне.

В рамках испытаний на борту робота Т7 «Инспектор» был установлен и подключен к бортовому вычислительному комплексу узкополосный радиомодем Guardian-400 производства американской компании NextGen RF Design ([www.nextgenrf.com](http://www.nextgenrf.com)) в диапазоне 406-470 МГц. Данный выбор был обусловлен необходимостью доработки технического решения для партии роботов, поставляемых компанией «СМП роботикс» в США. Следует

отметить, что данное устройство представляет собой «прозрачное»<sup>2</sup> устройство, работающее по последовательному интерфейсу, не позволяющее производить удаленную настройку радиосети, в связи с чем все настройки были выполнены заранее. Удаленная настройка полезной нагрузки программой испытаний не предусматривалась и на практике не производилась. Общий вид радиомодема Guardian представлен на Рис. 1 и 2.



Рис. 1. Общий вид радиомодема Guardian.



Рис. 2. Радиомодем Guardian-400 на борту робота T7 «Инспектор» в ходе лабораторного этапа испытаний.

Основные технические характеристики радиомодема Guardian представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Основные технические характеристики радиомодема Guardian.

Радиомодем Guardian	
Общие характеристики	

<sup>2</sup> «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.

	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:			
- прием, 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
<b>Приемник</b>			
Чувствительность (вероятность ошибки $1 \times 10^{-6}$ ), 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		
<b>Передатчик</b>			
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) – прием/передача, SMA (мама) – прием (для дуплексных моделей)		

Модем	
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача
Вид модуляции	2FSK

Натурные испытания были проведены с использованием типовой схемы коммутации оборудования с задействованием одного автономного подвижного робота Т7 «Инспектор». Базовый радиомодем Guardian-400 был подключен к пульту управления оператора, имеющего встроенные средства спутниковой навигации и удаленный доступ к опорной навигационной станции ГЛОНАСС/GPS, позволяющий повысить точность навигации робота при движении по маршруту и выполнении служебных операций, включая самостоятельное подключение к зарядной станции с целью подзарядки бортового аккумулятора. Второй радиомодем был установлен на борту робота и подключен к программируемому контроллеру по последовательному интерфейсу. Использование последовательного интерфейса в данном случае позволило максимально сократить задержки при обмене данными по командно-управляющей радиосети и оценить ее пропускную способность в части возможности одновременного обслуживания нескольких роботов. Собранная от бортовой полезной нагрузки тестовая информация передавалась на пульт оператора в процессе подзарядки бортовой аккумуляторной батареи по широкополосному каналу WiFi. Общая схема испытаний представлена на Рис. 2.

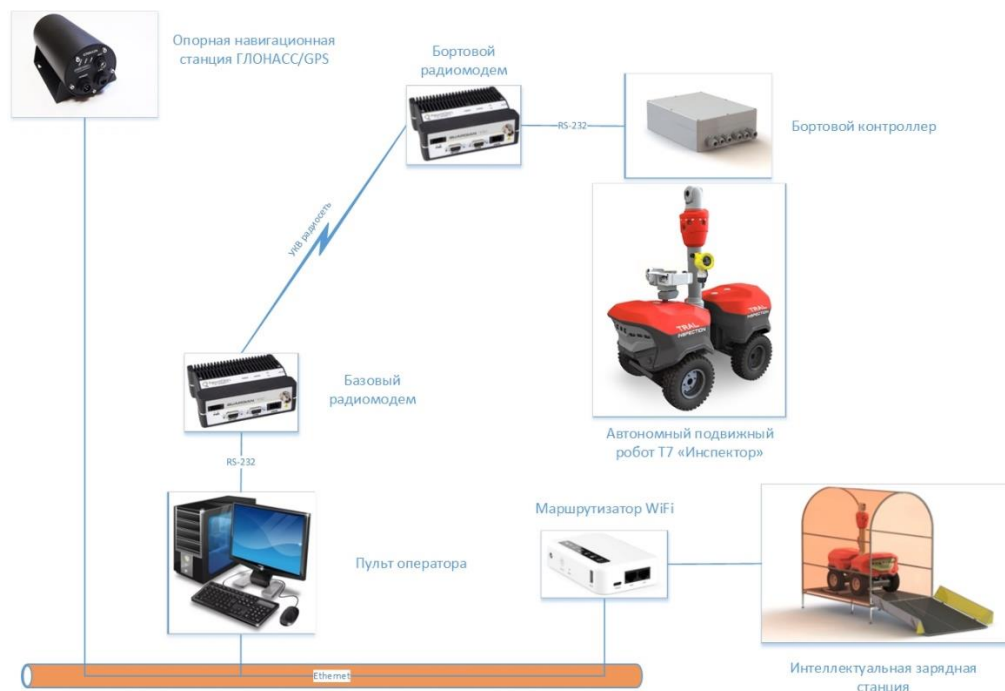


Рис. 3. Типовая схема коммутации оборудования для проведения натурных испытаний узкополосной технологической радиосети управления и обмена данными автономного подвижного робота Т7 «Инспектор».

Натурные испытания проводились в упрощенных условиях на слабо пересеченной местности. Основной задачей была проверка работы системы управления роботом и контроля его местоположения. Задача определения максимальной дальности связи в

процессе испытаний не ставилась, поэтому базовый радиомодем работал с уровня земли с подъемом приемопередающей антенны на 1,5 метра, что обеспечило устойчивую и надежную работу на всем маршруте, наиболее удаленная от базовой станции точка которого находилась на расстоянии более трех километров. В ходе работ была обеспечена надежная связь с роботом на всех участках маршрута его движения. По радиосети было передано 20 тыс. сообщений, доведение 19976 из которых было подтверждено инструментальными средствами объективного контроля. Задержки в доставке данных оказались более чем приемлемыми и не оказали отрицательного влияния на работу системы управления, пропускная способность радиоканала за счет малого времени доступа оказалась приемлемой при работе даже на пониженных скоростях.

Таким образом, испытания прошли успешно и подтвердили возможность использования технологической радиосети обмена данными в интересах удаленного управления автономными подвижными наземными робототехническими комплексами.

ООО «Независимый исследовательский центр  
перспективных разработок» (НЦИДР)

**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](mailto:sm@flexlab.ru)

<http://www.flexlab.ru>