

Выпуск 25–03

УЗКОПОЛОСНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОСЕТЬ УКВ ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПОЛИГОННЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящей статье представлена краткая информация о технологических радиосетях управления и сбора данных на узкополосных радиомодемах диапазона ультракоротких волн (УКВ), обеспечивающих функционирование военных и гражданских полигонов различного назначения. Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с созданием и эксплуатацией распределенных автоматизированных систем удаленного управления и сбора данных наземного (надводного) и воздушного базирования.

(Продолжение)

4 Гражданские полигонные радиосети

В состав гражданского полигона, в зависимости от его размера и назначения, могут входить различные службы: охраны и пожарной безопасности, транспортная, коммунальная, энергоснабжения, телеметрическая, метеорологическая и другие, функционирование которых должно обеспечиваться техническими средствами службы связи полигона – полигонными радиосетями.



Государственный научный центр Российской Федерации «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова»

Основными задачами узкополосной технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона на таких полигонах являются:

– сбор данных от размещенного на полигоне контрольно-измерительного оборудования, включая метеостанцию;

- передача телеметрической информации с подвижных наземных (надводных) и воздушных объектов;
- обмен данными между подвижными и стационарными объектами различного назначения в границах полигона;
- передача метеорологической информации;
- управление, мониторинг работы и технического состояния вспомогательных инженерных систем (электро-, тепло- и водоснабжения).

Виды и состав технологических радиосетей для гражданских полигонов практически ничем не отличаются от аналогичных для военных.

4.1 Радиосеть испытательного полигона

Современные гражданские испытательные полигоны используются в интересах разработки автотракторной, железнодорожной, авиационной и морской техники различного назначения. Даже при наличии современных аэродинамических труб и хорошо оснащенных бассейнов, полевые испытания остаются неотъемлемым элементом любой новой разработки. Поскольку в настоящее время технические характеристики вышеупомянутой техники (особенно беспилотной) и трудоемкость ее создания в значительной степени определяются встроенным программным обеспечением, важность повышения качества (выявление и устранение недостатков) и эффективности (сокращения сроков проведения) полевых испытаний постоянно растет. Обе эти задачи могут решаться с использованием полигонной радиосети на узкополосных радиомодемах.

Первый автомобильный полигон был создан американской компанией «Дженерал-Моторс» в 1924 году. В СССР Центральный научно-исследовательский автомобильный полигон (ЦНИАП) появился спустя 40 лет. Основной задачей радиосети автомобильного полигона является обеспечение испытаний автотракторной техники – изделий в целом и составляющих их подсистем и агрегатов. Такие испытания могут проводиться на заводских или специальных полигонах.



Автомобильный полигон (<https://ru.wikipedia.org>)

В связи с этим такая радиосеть должна, в первую очередь, позволять удаленно связываться с бортовым оборудованием, контролировать его текущее состояние, передавая и принимая в реальном масштабе времени телеметрическую информацию, например, от датчиков скорости движения, ускорения, расхода топлива, параметров работы двигателя и трансмиссии, и выполнять его удаленную настройку. Наиболее подходящим кандидатом на такую задачу представляется «пакетирующая» радиосеть. Именно такое оборудование изначально применялось на автомобильных полигонах за рубежом. Одна из первых таких радиосетей была развернута на полигоне компании «Форд моторс» (с 2007 года принадлежит компании «Крайслер») в штате Аризона на радиомодемах APR летом 1988 года. Технические характеристики радиомодема APR представлены в Таблице 8.

Таблица 8. Технические характеристики радиомодема APR.

Общие характеристики	
Диапазон частот, МГц	151–174; 400–470; 902–928
Шаг сетки частот, кГц	25
Рабочее напряжение, В	12 (постоянный ток), 110–220 (переменный ток)
Рабочая температура, °С	от -30 до 60
Масса (в упаковке), кг	6
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс, дуплекс
Приемник	
Достоверность передаваемых данных (вероятность возникновения ошибки)	1×10^{-11} BER
Передатчик	
Полоса пропускания без подстройки, МГц	23
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	2 или 5
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Интерфейсы	1, 3 или 5 RS-232 (DB9)
Антенный порт	N-типа
Модем	
Скорость, кбит/с	2,4; 4,8 или 9,6
Индикация	Питание, состояние, прием/передача
Встроенный протокол	CARMA (Collision Avoidance Radio Multiple Access)

В составе данной радиосети использовалось в общей сложности 12 радиомодемов, работавших на скорости 9,6 кбит/с и связывавших установленное на борту разработанное специалистами компании контрольно-измерительное оборудование с рабочим местом инженера на пункте управления полигоном. Для повышения пропускной способности радиосети и обеспечения возможности одновременной передачи команд и приема телеметрической информации применялась дуплексная модель устройства. Следует отметить, что непосредственно на автомобилях устанавливались работавшие в диапазоне УВЧ четвертьволновые штыревые антенны, которые обеспечили устойчивый обмен данными при скоростях движения до 360 км/ч. Возникавшие при этом в результате изгиба антенн изменения поляризации и потери сигнала, компенсировались на базовой станции. Реально в ходе испытаний организовывалась связь только с одним подвижным объектом, что было обусловлено ограниченной пропускной способностью радиоканала.

В отличие от автомобильного, технологическая радиосеть железнодорожного полигона обеспечивает решение более широкого круга функциональных задач, связанных с испытаниями как бортового (подвижного), так и наземного (стационарного) оборудования, которое включает в себя средства железнодорожной автоматики.

В настоящее время выделенные непосредственно для нужд ОАО «РЖД» частотные ресурсы, предназначенные для построения систем управления движением и обеспечения безопасности, распределяются примерно следующим образом:

- 2 МГц - резервирующий радиоканал систем управления соединенных и тяжеловесных поездов;
- 160 МГц - радиоканалы систем управления соединенных и тяжеловесных поездов, станционных систем передачи данных на малодеятельных участках, резервирующий канал при использовании в системах управления радиосетей общего пользования;
- 460 МГц - системы управления маневровыми локомотивами на станциях;
- 900/1800 МГц - поездная радиосвязь и интервальное регулирование движения поездов на скоростных и высокоскоростных участках;
- 1800, 2400 МГц - станционные высокоскоростные сети передачи данных для информационно-управляющих систем, организации видеонаблюдения.

Диапазон УКВ (160 и 460 МГц) задействуется в интересах обеспечения повседневного функционирования практически всех железнодорожных служб. Следует отметить, что за рубежом УКВ диапазон широко используется и для обеспечения задачи интервального регулирования движения поездов. Обмен цифровой информацией в этом диапазоне в интересах решения задач сбора данных и дистанционного управления в составе технологических радиосетей или по выделенным каналам связи, обслуживающим функционирование автоматизированных информационно-управляющих систем различного назначения, производится с помощью радиомодемов.



Щербинский испытательный полигон железнодорожного транспорта¹³ (<https://wiki2.org/ru:https://evgechesnokov.livejournal.com/163580.html>; <https://вжд.рф/вниизht>).

Характер проводимых на железнодорожном полигоне испытаний предъявляет различные требования к радиосети. Так, при работе с ответственными системами (а к таковым относится большая часть оборудования на железной дороге), например, контроллером автоматического железнодорожного переезда задержка в доставке данных не должна превышать 45 мс. При этом собственно задержка должна быть детерминированной (постоянной величины). Достижение таких параметров нереально для «пакетирующих» радиомодемов, в которых задержка никогда не является детерминированной и может колебаться в очень широких пределах (от десятков миллисекунд до нескольких секунд). Но «прозрачные» радиомодемы выполняют эти требования без особых проблем.

В то же время создание технологических радиосетей для автоматизированных систем управления на железнодорожном транспорте требует от первых более широких функциональных возможностей и пропускной способности, обеспечивающей поддержку современных протоколов обмена данными, например, протокола TCP/IP и реализации предоставляемых этим протоколом сервисных функций. Не говоря уже о необходимости обеспечения высокой надежности в доставке информации, реализуемой дополнительными средствами, например, применением помехоустойчивого кодирования и автоматической балансировки скорости обмена данными. Кроме того, подвижная радиосеть должна обеспечивать обмен данными между устанавливаемым на борту и на станциях оборудованием на всем протяжении железнодорожных путей, протяженность которых составляет тысячи километров. Значит в такой радиосети должны быть реализованы функции «хендовера»¹⁴ - эстафетной передачи подвижного объекта между установленными вдоль путей соседними базовыми станциями.

В связи с вышеуказанным, технологическая радиосеть современного железнодорожного полигона должна иметь в своем составе как «пакетирующие», так и «прозрачные» радиомодемы.

Особенности технологической радиосети морского и авиационного полигонов связаны, в первую очередь, с условиями установки оборудования: на борту кораблей, судов, авиационных средств или биев, а также организацией электропитания и защиты

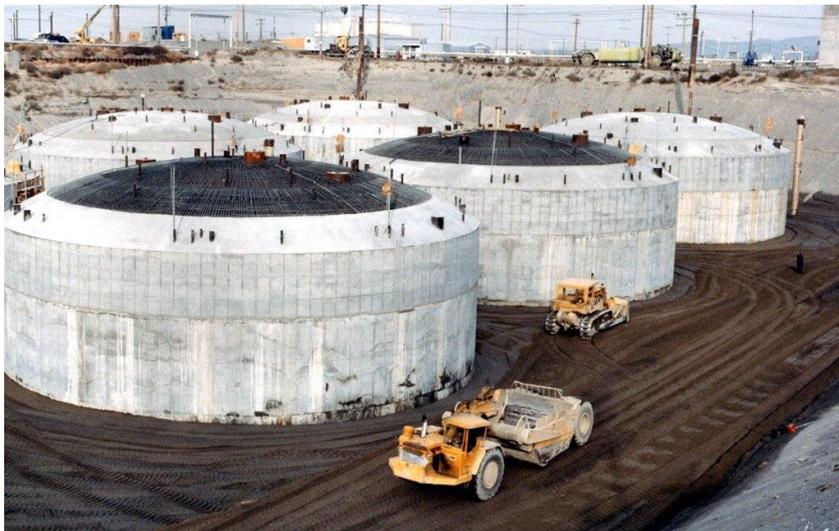
¹³ Экспериментальная кольцевая железная дорога ВНИИЖТ (ранее экспериментальное кольцо ЦНИИ МПС) – железнодорожный испытательный полигон в России, филиал ВНИИЖТ. Состоит из исследовательских лабораторий, трех электрифицированных кольцевых путей и пункта управления Экспериментальным кольцом. Предназначен для проведения комплексных испытаний локомотивов, моторвагонного подвижного состава, вагонов, элементов строения пути, приборов, узлов и оборудования.

¹⁴ Хендовер (англ. Handover) – процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной базовой станции к другой. В спутниковой связи процесс передачи контроля над спутником от одного научно-измерительного пункта к другому без нарушения и потери обслуживания.

оборудования от воздействий окружающей среды в последнем случае. При этом архитектура радиосети не отличается от архитектуры радиосетей для наземных полигонов. Однако, особенности создания технологических радиосетей на море требуют отдельного рассмотрения.

4.2 Радиосеть полигона промышленных и радиоактивных отходов

Полигон промышленных и радиоактивных отходов предназначен для длительного хранения опасных отходов, относящихся к первому и второму классам по ФККО¹⁵.



Полигон промышленных отходов (<https://vyvoz.org/blog/musornye-poligony>).

Такие полигоны представляют собой технически сложные и дорогостоящие сооружения с повышенной защитой от утечки отходов в окружающую среду. Они подразделяются на полигоны промышленных отходов и полигоны радиоактивных отходов. В первые направляется токсичный мусор, который нельзя утилизировать на обычных свалках, во вторые – радиоактивные отходы. Оба типа полигонов оснащаются средствами мониторинга окружающей среды, устанавливаемыми не только в пределах территории собственно полигона, но и за его границами. Особенности выбора мест для таких полигонов (вдали от населенных пунктов) и подлежащая контролю обширная территория обуславливают необходимость использования технологических радиосетей обмена данными УКВ диапазона для обслуживания их потребностей.

Следует отметить, что опасные в радиоактивном отношении объекты должны оснащаться современными средствами мониторинга окружающей среды, к которым относятся Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). Более подробная информация о технологических радиосетях для АСКРО представлена в Техническом бюллетене ООО «НЦПР» (Выпуск 21. Радиосеть обеспечения безопасности Ленинградской атомной электростанции, <https://flexlab.ru/publications/technical-bulletin/145-vypusk-21-radioset-laes/file>).

¹⁵ **Федеральный классификационный каталог отходов** – список отходов, содержащий в себе классифицированную и структурированную информацию по видам наименования и определения класса опасности для любого вида мусора (<http://kod-fkko.ru>).

4.3 Радиосеть полигона твердых бытовых отходов (ТБО)

Полигон ТБО представляет собой земляное сооружение, которое проектируется для охраны окружающей среды с учетом возможности максимального использования самих свойств отходов и преимуществ отведенного участка. Складирование на полигоне сегодня является самым распространенным методом захоронения твердых бытовых отходов в не только в Российской Федерации, но и в мире.



Полигон твердых бытовых отходов в Волоколамске
(<http://peresval.ru/story/content/3285-tipy-klassifikatsii-poligonov-tbo.htm>)

Каждый полигон имеет свои собственные особенности проектирования, которые напрямую зависят от специфики местных условий. Сегодня в мире не существует типовых проектов полигонов, поскольку каждый из них является уникальным, а можно типизировать только лишь решение отдельных конструктивных узлов и технологических приемов.

Технология складирования мусора на полигонах ТБО имеет ряд существенных недостатков, поэтому в настоящее время в стране реализуется программа их закрытия (консервации) и рекультивации. Однако, полигонное захоронение твердых бытовых отходов является источником получения свалочного газа – биогаза, образующегося в результате разложения мусора под слоем земли. При разложении бытовых отходов выделяется газ, содержащий в себе до 60% метана, благодаря чему он может быть использован в качестве местного топлива. По оценке специалистов, при разложении одной тонны ТБО образуется 100–200 м³ свалочного газа. Процесс разложения отходов является достаточно длительным и может продолжаться многие десятки лет, поэтому полигон отходов можно рассматривать в качестве стабильного источника биогаза. Масштабы и высокая стабильность образования, расположение рядом с урбанизированными территориями и низкой стоимостью добычи делают свалочный газ,

получаемый на специально оборудованных полигонах ТБО, одним из наиболее перспективных источников энергии, который может быть использован для местных нужд.

Организация сбора свалочного газа и его транспортировки до потребителей требует не только контроля, но и автоматизации этого технологического процесса, поскольку такая система должна действовать на протяжении длительного времени в условиях, когда бывший владелец полигона ТБО уже не несет за него ответственность. Обеспечить функционирование такой системы может технологическая радиосеть обмена данными. В случаях, когда полигон ТБО находится в зоне действия сети оператора сотовой связи, ресурсы данной сети также могут использоваться для решения данной задачи, однако технологическая сеть все равно остается привлекательным техническим решением, поскольку ее эксплуатация не связана с оплатой трафика и аренды оборудования оператора сотовой связи.

В соответствии с п. 6.4 СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов» для полигонов ТБО разрабатывается специальная программа (план) производственного контроля (мониторинга), которая должна включать в себя информацию о контроле за состоянием подземных и поверхностных водных объектов, атмосферного воздуха, почв, уровней шума в зоне возможного неблагоприятного влияния таких полигонов. Эффективное выполнение этой задачи обеспечивается применением современных цифровых контрольно-измерительных средств, подключенных к технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона.

4.4 Радиосеть карбонового полигона

Карбоновые полигоны – это территории, на которых проводятся комплексные исследования по мониторингу уровня содержания парниковых газов в атмосфере, а также исследования по углеродному обмену (атмосфера/почва/вода) параллельно с измерением значимых параметров окружающей среды (температура, влажность, освещенность, скорость и направление ветра и другие). Часть контролируемых параметров входит в перечень, описанный выше в разделе «Радиосеть полигона твердых бытовых отходов (ТБО)».

Планируемые в рамках пилотного проекта полигоны при организациях Минобрнауки России



Перспективная схема размещения карбоновых полигонов на территории Российской Федерации (<https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony>)

В первую очередь карбоновые полигоны создаются в Чеченской Республике, Краснодарском крае, Калининградской, Новосибирской, Сахалинской, Свердловской и Тюменской областях. На территории карбоновых полигонов планируется осуществлять как научную, так и образовательную деятельность.

Такие полигоны занимают обширные территории, на которых необходимо организовать на постоянной основе непрерывный сбор данных о состоянии окружающей среды. Решить эту задачу можно только с использованием современных цифровых контрольно-измерительных средств.

Наиболее перспективным организационно-техническим решением в этом случае представляется создание и использование интегрированной радиосети на современном радиомодеме «Гепард-100С» отечественной разработки, технические характеристики которого представлены в Таблице 9.

Таблица 9. Технические характеристики радиомодема «Гепард-100С».

Радиомодем «Гепард-100С»	
Общие характеристики	
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
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 интегрированный приемопередающий комплекс, имеющий в своем составе следующие средства связи:

- УКВ для узкополосной технологической радиосети обмена данными;
- GSM/LTE для обмена данными в сетях связи общего пользования;
- СВЧ для обмена данными в радиосетях WiFi стандартов IEEE 802.11B/G/N.

Такой набор возможностей, реализованных в одном изделии, позволяет создавать гибридные радиосети, функционирующие на практически неограниченной территории с гибким выбором варианта подключения оконечного оборудования.

Средства мониторинга окружающей среды на карбоновом полигоне могут размещаться различным образом. В случае их установки относительно плотной группой в непосредственной близости друг от друга (в зоне радиусом несколько сотен метров) их работа может обслуживаться одним радиомодемом «Гепард-100». При этом данные от каждого датчика будут поступать на порт радиомодема по широкополосному каналу WiFi и транслироваться в пункт их обработки по технологической радиосети УКВ диапазона или сети сотовой связи, при ее наличии. Технологическая радиосеть и сеть сотовой связи в этом случае могут дополнять одна другую, выступая в качестве основного или резервного средства обмена данными.

Поскольку радиосеть карбонового полигона должна надежно функционировать на обширной территории на протяжении длительного периода времени при ее проектировании должны быть учтены требования по повышению ее надежности и снижению затрат на эксплуатацию. Данная задача может быть решена за счет применения средств мониторинга работы радиосети и технического состояния применяемого в ее составе радиотехнического оборудования.

ВЫВОДЫ:

1. Основной системы связи современного полигона является узкополосная технологическая радиосеть обмена данными УКВ диапазона, что обусловлено ее оперативно-техническими возможностями в части рабочей зоны, пропускной способности, надежности и безопасности. Такие полигонные радиосети позволяют организовать обмен данными между стационарными и подвижными объектами в пределах полигона и за его границами.
2. Полигонная радиосеть может строиться на «прозрачных» или «пакетирующих» радиомодемах. Выбор того или иного типа или их сочетания производится исходя из решаемых на полигоне задач и применяемого оборудования.

ООО «Независимый исследовательский центр
перспективных разработок» (ИЦИР)

Flexlab
с 1991 года

г. Москва, Новинский бульвар, дом 11, офис 302

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>