

Выпуск 27

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОМОДЕМОВ «ГЕПАРД» В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В настоящей статье представлена информация о возможностях и преимуществах применения отечественных узкополосных радиомодемов радиотехнической платформы «Гепард» в системе точного земледелия¹. Материал предназначен для руководителей и технических специалистов организаций и предприятий, связанных проведением полевых работ, производством сельскохозяйственной техники и автоматизацией технологических процессов в аграрном секторе.

Технологический партнер проекта: АО "Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники".
Информационный партнер проекта: журнал «Беспроводные технологии».

1. Общая информация

В системе точного земледелия сельскохозяйственные угодья рассматриваются не гектарами или условными полями, а отдельными участками земли, имеющими близкие характеристики в части неоднородности всходов, сроков вегетации растений, изменения влажности и продуктивности почвы, насыщенности ее удобрениями и обработкой средствами защиты от вредителей. Точность оценки текущего состояния земельного участка и потребностей в улучшении его характеристик достигается различными способами, в том числе, с использованием современных технологий сбора и анализа данных, получаемых с помощью инструментальных средств: авиационно-космических средств, различных датчиков, устанавливаемых на технике и в полях, метеостанций и другого оборудования.



Зерноуборочный комбайн при выполнении полевых работ (www.md.rostselmash.com)

¹ **Точное земледелие** – комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии глобального позиционирования (GPS), географические информационные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологию переменного нормирования (Variable Rate Technology), технологии дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и решения технологии "интернет вещей" (IoT).

Располагая точной информацией об особенностях участков поля, можно корректировать полив, вносить удобрения или средства защиты растений с учетом этих особенностей, повышая продуктивность земель. Определять характеристики земельных участков и требования по организации их обработки, а также эффективно удаленно управлять применением оборудования позволяют технологии точного земледелия.

Ниже коротко описаны только технологии, относящиеся к решению задач высокоточного позиционирования, а также управления и сбора данных от работающей непосредственно в поле сельскохозяйственной техники.

2. Применение технологических радиосетей обмена данными в системе точного земледелия

Выполнение вышеуказанных задач связано с использованием нескольких частных технических решений в области обмена данными, включая передачу и прием:

- дифференциальной поправки (коррекции)² с целью повышения точности позиционирования сельскохозяйственной техники в поле;
- телеметрической информации (данных о местоположении, оперативном и техническом состоянии оборудования и агрегатов в поле)
- данных от инструментальных средств контроля, включая подвижные (беспилотные летательные аппараты, БЛА, и стационарно устанавливаемые в поле датчики);
- сигналов управления, оповещения и единого времени;
- метеорологической информации.

По оценке отечественных и зарубежных специалистов, наиболее эффективно решение вышеупомянутых задач обеспечивается средствами технологической радиосети обмена данными³ на базе узкополосных радиомодемов диапазона ультракоротких волн (УКВ), существенными преимуществами которой следует считать следующие:

- гарантированная надежность⁴ работы (радиосеть создается и управляется ее владельцем с учетом его персональных требований к надежности функционирования);
- высокая живучесть⁵ радиосети в различной обстановке (требование к живучести закладывается на этапе проектирования радиосети ее владельцем, и, как правило, оказывается выше, чем в радиосетях общего пользования);

² **Дифференциальная коррекция** – система повышения точности сигналов ГНСС, заключающаяся в исправлении измеренных приемником псевдодальностей до спутников поправками к ним, полученными извне, от достоверного измерителя (базовая или опорная станция). При этом компенсируются как атмосферные искажения, так и эфемеридные ошибки.

³ **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 № 126-ФЗ).

⁴ **Надежность** ([англ. reliability](#)) – свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и транспортирования [ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»].

⁵ **Живучесть** ([англ. survivability](#)) – свойство системы, характеризуемое способностью выполнять установленный объем функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах [ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения»].

- обширная рабочая зона, полностью перекрывающая район использования подключенных к радиосети оконечных устройств, как правило, объединенных в автоматизированную систему управления (реально построенные технологические радиосети имеют оперативную зону более миллиона кв. км);
- возможность использования детерминированных протоколов обмена данными, поддерживающих работу в близком к реальному режиму времени и обеспечивающих гарантированную доставку данных в установленные регламентом работы радиосети сроки;
- относительно небольшое время доступа к каналу передачи данных, обеспечивающее незначительные и приемлемые для большинства автоматизированных систем задержки в доставке данных;
- высокая безопасность данных, функционирующих в технологической радиосети (применяемые технологии обеспечивают защиту от подавления, перехвата или несанкционированного доступа к работе в составе технологической радиосети);
- относительно низкая стоимость эксплуатации;
- независимость от «чужой» инфраструктуры связи и возможность развивать ее исходя из реальных требований (радиосеть принадлежит эксплуатирующей ее организации, параметры ее работы и оперативная зона могут изменяться ею самостоятельно);
- совместимость с разнородным оборудованием сбора и обработки данных по широко применяемым и детально отработанным интерфейсам;
- простота перемещения и оперативность развертывания в новом районе;
- возможность эксплуатации в жестких условиях окружающей среды.

Одним из наиболее серьезных недостатков системы точного земледелия является высокая стоимость внедрения современных технологий. В связи с этим важным критерием оценки такой системы является «стоимость-эффективность». Практика показала, что по данному критерию решение на основе технологической радиосети является бесспорно лучшим по сравнению со спутниковыми сетями связи, в то время как применение сотовой связи и для решения задач точного земледелия имеет ряд серьезных ограничений по целому ряду хорошо известных причин. Вместе с тем использование каналов сотовой связи в качестве резервных может стать приемлемым решением в ряде случаев и должно учитываться при построении беспроводных систем обмена данными в сельском хозяйстве. В идеале большинство из подключаемых к такой радиосети объектов должно в реальном масштабе времени или с заданной периодичностью получать управляющие сигналы и дифференциальные поправки, а также передавать данные о своем оперативно-техническом состоянии и позволять производить удаленное включение и отключение оборудования в ручном режиме по аналогии с современными интеллектуальными сетями в промышленности и на транспорте.

Важным требованием к системе обмена данными любой автоматизированной системы управления (АСУ) является обеспечение ее надежного функционирования, предполагающая достижение минимальных задержек при доставке данных и, главное, детерминированности таких задержек (они должны иметь постоянное значение на протяжении всего периода эксплуатации системы). В связи с этим представляют интерес приведенные ниже результаты испытаний с целью оценки задержек в сетях сотовой связи при передаче данных с использованием различных устройств, проведенные специалистами российской компании «Ориент Системс» (www.orsyst.ru).

В ходе испытаний были произведены сравнительные замеры задержек в передаче данных по сети GPRS при использовании типовых устройств и специализированного изделия,

разработанного специалистами вышеуказанной компании. При выполнении работ технические специалисты исходили из следующего:

В условиях городской застройки⁶ наиболее удобным каналом связи является сеть сотовой связи GPRS. Однако при проведении испытаний с типовым (стандартным) 2-SIM GPRS-модемом были выявлены серьезные проблемы:

- индикация наличия сети Интернет при фактическом ее отсутствии;
- последовательное накопление пакетов корректирующей информации в буфере модема с последующей передачей в канал группы пакетов;
- относительно длительное переключение между SIM-картами различных операторов сотовой связи;
- прерывание потока корректирующей информации при отсутствии ответа от модема.

В целом данные проблемы приводили к потере корректирующей информации и, соответственно, значительному ухудшению точности навигационного решения, что неприемлемо для рассматриваемого технологического процесса (высокоточного позиционирования сельскохозяйственной техники при проведении полевых работ). Результаты практических измерений представлены на Рис. 1.

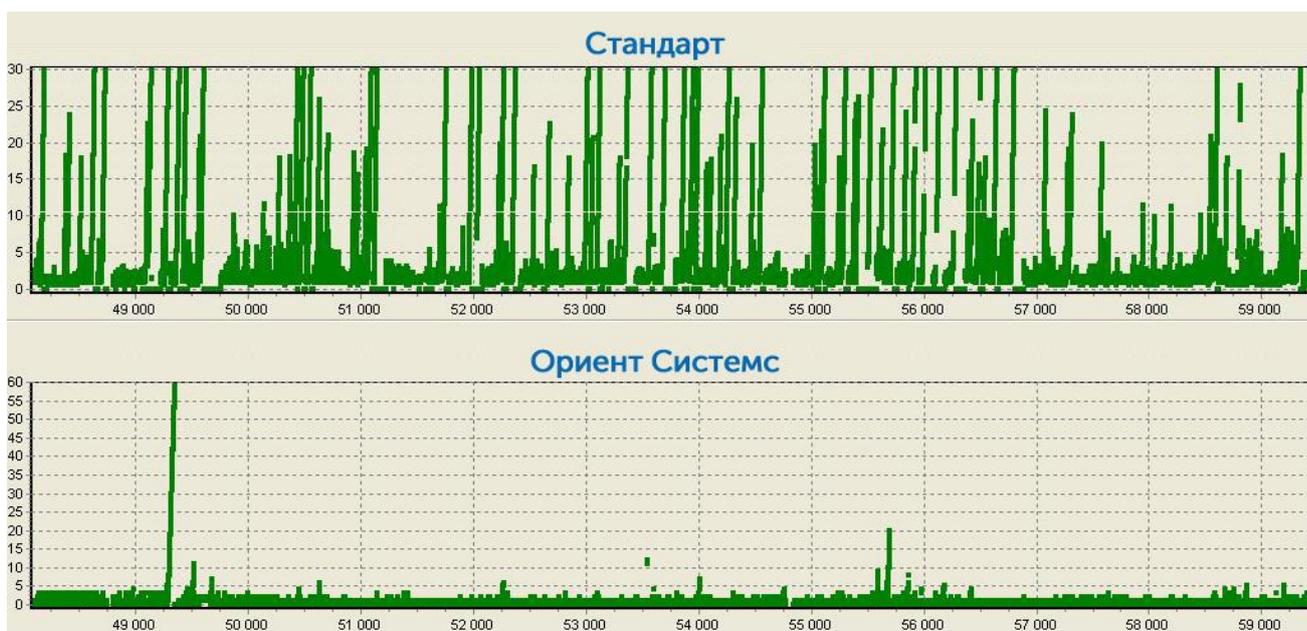


Рис. 1. Сравнительные данные по задержкам, возникающим в процессе работы обычного и специализированного GPRS-модема (www.orsyst.ru/blog7).

В процессе испытаний специализированный модем компании «Ориент Системс» показал достаточно стабильные задержки, не превышающие две секунды (отдельные краткосрочные «выбросы» значений задержки в 60 и 20 секунд связаны с изменением условий приема сигнала).

⁶ Следует отметить, что условия распространения радиоволн в городской и сельской местности существенно различаются, но надежность доставки данных определяется возможностями сети сотовой связи в оперативной зоне. В связи с этим полученные в ходе испытаний в условиях города результаты могут быть использованы применительно к сельской местности.

В то же время обычный GPRS-модем не обеспечивает детерминированных задержек, длина которых сильно варьируется и очень часто превышает 30 секунд.

Технологическая радиосеть обмена данными на узкополосных радиомодемах УКВ диапазона является системой реального времени. Задержки в такой радиосети, связанные с передачей информации, всегда детерминированы и для отдельных моделей составляют 0,045 с – почти в 45 раз меньше, чем для лучшего GPRS-модема, и в 675 раз меньше, чем у типового. Связано это с применяемыми методами доступа в технологической радиосети и упрощенными, по сравнению с сетью сотовой связи, служебными процедурами установления связи. Данные о типовых задержках в технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона между базовой станцией радиосети (БС) и контролируемым пунктом (КП) представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Типовые задержки при обмене данными в технологической радиосети УКВ-диапазона третьего поколения⁷.

Наименование микрооперации	Время выполнения, с	Время выполнения, %	Примечание
Установление связи между БС и КП	0,016	0,77%	Складывается из времени атаки передатчика радиомодема – 1 мс, и времени синхронизации – 15 мс в режиме DOX (25 мс в режиме RTS/CTS)
Передача запроса от БС к КП	0,00104	0,05%	
Обработка запроса контроллером телемеханики и генерация ответа	2	96,40%	
Установление связи между КП и БС	0,016	0,77%	
Передача ответа от КП к БС	0,04167	2,01%	
ИТОГО:	2,07471	100,00%	

Анализ представленных в Таблице 1 данных позволяет сделать вывод о том, что основные задержки в технологической радиосети обмена данными (более 96% времени) накладываются работой подключенного к ней оконечного оборудования (вычислительного устройства). При этом задержка, вносимая УКВ радиомодемом, составляет 0,075 с или около 4%.

⁷ Предполагается, что обмен данными в радиосети, а также между радиомодемом и контроллером телемеханики производится на скорости 19,2 кбит/с. Размер запроса составляет 20, а ответа – 800 байт. Исходные данные взяты для базовой модификации комплекса телемеханики «Телеканал-М2», поддерживающий обмен данными с пунктами управления с использованием стандартизированных протоколов ГОСТ Р МЭК 60870-5-101, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104 и FT1.2 «Телеканал».

В настоящее время разработчики систем точного земледелия и сельскохозяйственные предприятия уже накопили определенный практический опыт в использовании технологических радиосетей обмена данными на узкополосных радиомодемах УКВ диапазона. Например, они используются в АСУ оросительными каналами с начала 90-х годов прошлого столетия⁸. За последние пять лет только на территории Бразилии было развернуто около 3000 установок автоматической системы орошения⁹ американской компании Valmont Industries, Inc. (www.valmont.com). Около 50 таких установок, подключенных к технологической радиосети, более двух лет успешно эксплуатируются на территории Российской Федерации.

3. Использование оборудования отечественной радиотехнической платформы «Гепард-100» в точном земледелии

Эффективное решение всего комплекса задач организации обмена данными с сельскохозяйственной техникой в поле в рамках системы точного земледелия может быть обеспечено средствами отечественной радиотехнической платформы на узкополосных радиомодемах УКВ диапазона «Гепард». Создание двух типов радиомодемов «Гепард-100» для данной платформы завершено в апреле 2022 года.

Основной целью разработки отечественной платформы является не просто замещение импортного оборудования, а создание современной технологической основы, включающей семейство устройств, специальное программное обеспечение и развитый сервис по технической поддержке в период всего цикла эксплуатации ее программно-технических средств, предназначенных для развертывания не только стационарных, но и подвижных технологических радиосетей для промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

Сравнительные технические характеристики радиомодемов «Гепард-100И» и «Гепард-100С» представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Сравнительные технические характеристики радиомодемов «Гепард-100И» и «Гепард-100С».

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-100И»	Радиомодем «Гепард-100С»
Диапазон рабочих частот, МГц	146-174	146-174
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50, 25, 12,5	50; 25; 12,5
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)	10-30 (постоянный ток)
Габаритные размеры (Ш x Г x В), см	17,0 x 16,0 x 6,1	17,0 x 16,0 x 6,1

⁸ <https://flexlab.ru/technical-bulletin/133-vypusk-18-razvitie-tekhnologicheskikh-radiosetej-avtomatizirovannykh-sistem-upravleniya-orositelnymi-kanalami-na-uzkopolosnykh-radiomodemakh/file>

⁹ <https://flexlab.ru/technical-bulletin/129-izveshchenie-05-radioset-v-sisteme-orosheniya/file>

Масса (в упаковке), кг	1,2	1,4
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс	симплекс/полудуплекс
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10	1-10
Цикл работы на передачу, %	100	100
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), Ethernet RJ-45, USB	2 x RS-232 (DE-9F), Ethernet RJ-45, USB
Антенна	TNC (мама)	TNC (мама)
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2; 32	16; 24; 32; 48; 64; 96; 192
Индикация	Питание, состояние, подключение к оконечному оборудованию, прием/передача	Питание, состояние, подключение к оконечному оборудованию, прием/передача
Режим работы	«прозрачный»	«прозрачный» или IP
Дополнительные беспроводные интерфейсы	-	3G/4G WiFi IEEE 802.11b/g/n

Радиомодем «Гепард-100И» представляет собой «прозрачное»¹⁰ 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. Радиомодем «Гепард-100И» полностью совместим с американским радиомодемом Integra-TR (в настоящее время в России эксплуатируется более 9000 таких радиомодемов, в том числе, в агропромышленном комплексе). Он может использоваться как для поддержания технической готовности существующих радиосетей на радиомодемах Integra-TR, так и для строительства новых, предполагающих подключение оконечного оборудования по последовательным или сетевому интерфейсам.

Радиомодем «Гепард-100С» представляет собой «пакетирующее»¹¹ 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, а также интерфейс WiFi (IEEE 802.11b/g/n). При этом, в зависимости от встроенного программного обеспечения, он может быть настроен для совместной работы с «прозрачными» радиомодемами Integra-TR в единой радиосети на скоростях 4,8, 9,6 и 19,2 кбит/с при подключении оконечных устройств по протоколу TCP/IP. То есть, обеспечивает подключение к действующим «прозрачным» радиосетям современных контроллеров с сетевым интерфейсом Ethernet без замены ранее установленного оборудования

¹⁰ **«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.

¹¹ **«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.

и использования переходных устройств с последующим переводом на работу в «пакетирующем» режиме после постепенного вывода из эксплуатации «прозрачных» радиомодемов.

Наличие в составе отечественной радиотехнической платформы «Гепард» сразу двух узкополосных радиомодемов, имеющих различные функциональные возможности, но созданные на единой программно-технической основе, позволяет эффективно и, что немаловажно, гибко с финансовой точки зрения решать весь комплекс задач, связанных с обеспечением надежного функционирования системы точного земледелия в части организации связи с работающей в поле сельскохозяйственной техникой.

Следует отметить, что на базе радиомодема «Гепард-100С» началась разработка нового изделия платформы, получившего наименование «Гепард-100М». Этот радиомодем будет адаптирован для создания подвижных радиосетей и радиосетей с повышенными требованиями к надежности доставки данных. С этой целью в радиомодеме планируется реализовать функцию помехоустойчивого кодирования, которая позволит не только повысить надежность доставки информации, но и увеличить дальность работы.

Систему точного земледелия не стоит отождествлять с инновационными технологиями обработки почвы, которые являются лишь частью общей концепции, суть которой заключается в снижении себестоимости продукции за счет повышения производительности труда, рационального использования ресурсов и повышения плодородности почв. Однако применение программно-технических средств такой системы удачно дополняет классические инструменты повышения эффективности сельского хозяйства, включающие в себя использование экономичной и производительной сельхозтехники, внесение высокоэффективных удобрений, средств защиты растений, селекцию новых сортов сельскохозяйственных культур, щадящие технологии обработки почвы. Технологическая радиосеть обмена данными, в свою очередь, предоставляет возможность повышения производительности труда за счет обеспечения разумной и контролируемой эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Технические характеристики «прозрачного» радиомодема «Гепард-100И» идеально подходят для трансляции дифференциальной поправки и ограниченного удаленного управления сельскохозяйственной техникой в поле, прежде всего, в районах, где отсутствует доступ к сотовой сети связи. Дифференциальная поправка транслируется одновременно для неограниченного количества получателей по УКВ радиосети, что исключает необходимость наличия в зоне проведения работ опорной станции спутниковой навигации, транслирующей такую поправку по спутниковым каналам связи. При необходимости совместно с радиомодемом «Гепард-100И» предусмотрено использование отечественной опорной станции «Печора» (<https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/4931.pdf>). Радиомодем «Гепард-100И» позволяет передавать телеметрическую информацию, данные от инструментальных средств контроля, сигналов управления, оповещения и единого времени, а также метеорологическую информацию. Однако, при развертывании радиосети на этом радиомодеме следует учитывать ее относительно ограниченную пропускную способность и сложности применения для удаленного управления большими группами сельскохозяйственной техники.

Вышеуказанные сложности полностью преодолеваются применением «пакетирующего» радиомодема «Гепард-100С», обеспечивающего создание более надежных и производительных радиосетей с резервированием каналов обмена данными в районах, где имеется доступ к сотовой сети стандартов 3G/4G и сети WiFi IEEE 802.11b/g/n. Интеллектуальный радиомодем самостоятельно выбирает оптимальный канал обмена данными и производит отправку-прием

информации по нему. Для обмена используется протокол ТСР/IP, что приводит к увеличению задержек в доставке данных, связанных с накладными расходами, связанными с потребностями протокола. Частично возникающие задержки компенсируются более высокой скоростью обмена данными (пости в 10 раз выше, чем у радиомодема «Гепард-100И»). В свою очередь применение IP-протокола предоставляет широкий набор дополнительных функциональных возможностей, включая удаленную настройку не только собственно радиомодема, но и подключенного к нему оконечного оборудования. Практика эксплуатации таких радиосетей показала, что возникающие задержки не оказывают существенного влияния на работу АСУ (включая передачу сигналов единого времени) и позволяют подключать к радиосети практически любые контроллеры и терминалы с различными интерфейсами.

ВЫВОДЫ:

1. Российскими разработчиками созданы и подготовлены к производству первые два узкополосных радиомодема УКВ диапазона отечественной радиотехнической платформы «Гепард», позволяющие эффективно использоваться для обеспечения функционирования систем точного земледелия.
2. Радиотехническая платформа «Гепард» позволяет произвести стандартизацию и унификацию создаваемых и перспективных технологических радиосетей, предназначенных для использования в составе систем точного земледелия в интересах работы подвижной и передвижной сельскохозяйственной техники, а также стационарного оборудования.

ООО «Независимый исследовательский центр
перспективных разработок» (НЦПР)

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>