

# технологическая радиосеть как средство повышения надёжности территориально распределенной автоматизированной системы управления технологическими процессами

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

Технический бюллетень 31

*В настоящем техническом извещении представлена краткая информация о возможностях технологических радиосетей обмена данными УКВ диапазона по повышению надёжности работы автоматизированных систем управления технологическими процессами различного назначения, обеспечивающих функционирование территориально распределенных производственных комплексов в промышленности и на транспорте. Материал предназначен для специалистов, занимающихся созданием и эксплуатацией территориально распределенных стационарных и подвижных информационно-управляющих систем различного назначения.*

## 1. Общая информация

Работа большинства автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в промышленности и на транспорте обеспечивается кабельными сетями связи и обмена данными. Такое решение представляется вполне обоснованным как с технической, так и с финансовой точек зрения, является хорошо отработанным на практике и вполне надёжным. Сетевые кабели могут прокладываться в траншеях под землей, в потернах<sup>1</sup> или по воздуху. На крупных территориально распределенных предприятиях протяженность кабельных сетей может составлять десятки километров. Поддержание работоспособности такой инфраструктуры требует определенных усилий, а восстановление ее работоспособности после аварий может потребовать значительных затрат времени и усилий.



## АСУ ТП нефтеперерабатывающего завода

(ООО «Индустриальные системы автоматики» [www.industrialsystems.ru](http://www.industrialsystems.ru))

К сожалению, в настоящее время угроза возникновения техногенных аварий<sup>2</sup>, а также разрушений, вызванных военными действиями, существенно возросла. Достаточно вспомнить о воздушных ударах с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА) по инфраструктуре нефтеперерабатывающих заводов и попытках диверсий на объектах промышленности и транспорта. Ликвидация последствий такого внешнего воздействия и восстановление нормальной работы производственных объектов становится важным фактором обеспечения стабильности всей экономики.

В соответствии с требованиями ст. 10 Федерального закона № 116-ФЗ, организация, деятельность которой связана с эксплуатацией опасных производственных объектов I, II, III классов опасности, обязана разработать и утвердить План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий<sup>3</sup>. В результате выполнения мероприятий ПЛА предполагается восстановление утраченного в результате аварии контроля над производственными процессами, включая восстановление работы АСУ ТП.

Вышеуказанные работы могут быть существенно упрощены и ускорены, если при создании АСУ ТП были использованы беспроводные средства обмена данными или заранее предусмотрены варианты ее функционирования с использованием резервной беспроводной сети связи и обмена данными в качестве дополнения к проводной. Такая резервная сеть должна функционировать через отличную от основной сети среду передачи данных, что позволяет не только оперативно восстановить работу АСУ ТП, но и организовать ее надежную эксплуатацию при проведении регламентных работ на основной сети. Такое техническое решение нельзя назвать новым, поскольку оно уже давно применяется на важных и ответственных сетях связи. Например, на наземных магистральных<sup>4</sup> кабельных сетях связи в случае аварии или при временном отключении предусматривается использование радиорелейных<sup>5</sup> «вставок», а на подводных кабельных сетях — потоки информации переводятся в спутниковые каналы связи.

Повышение надёжности работы и сокращение сроков восстановления работоспособности АСУ ТП на предприятиях промышленности и транспорта может быть осуществлено за счет внедрения современных узкополосных технологических радиосетей обмена данными (ТРОД) диапазонов очень высоких (ОВЧ)<sup>6</sup> и ультравысоких частот (УВЧ)<sup>7</sup>. При этом такие радиосети могут выступать в качестве как основных, так резервных.

## 2. Технологическая радиосеть обмена данными для АСУ ТП

Применение ТРОД в промышленности и на транспорте уже имеет свою многолетнюю и успешную историю. Такие радиосети используются в качестве основных, в первую очередь, на протяженных объектах, где прокладка кабелей является нецелесообразной или невозможной. С использованием этой технологии построены практически все сети управления телемеханикой подразделений ПАО «Газпром», отвечающих за добычу и транспортировку газа, а также значительная часть таких сетей в подразделениях компаний ООО «Газпром межрегионгаз» и АО «Газпром газораспределение», большая часть сетей ПАО «Новатэк», почти все сети ПАО «Транснефть» и нефтедобывающих компаний, включая ПАО НК «Роснефть», «ЛУКОЙЛ», «Татнефть», «Сургутнефтегаз» и АО «Сахатранснефтегаз», не менее

половины сетей ведущих электроэнергетических компаний, некоторые объекты АО «РЖД» и промышленного железнодорожного транспорта<sup>8</sup>. Следует отметить, что все вышеупомянутые объекты относятся к II классу опасности и предъявляют повышенные требования к системе управления.

В качестве резервных ТРОД могут использоваться при организации практически любого основного производства<sup>9</sup>, в первую очередь, предусматривающего непрерывный цикл работы, вынужденная остановка которого связана с серьезными потерями или нежелательна по другим причинам.

Такая широкая область применения вышеуказанных радиосетей обусловлена особенностями условий эксплуатации — как правило, это районы с суровыми климатическими условиями, включая зону вечной мерзлоты, где физическая прокладка и поддержание работы кабельной сети связана с серьезными трудностями, и характером объекта автоматизации — организация беспроводной системы обмена данными на территориально распределенных объектах оказывается экономически эффективнее и технически надёжнее, чем проводной.

Более того, на отдельных протяженных объектах работа основной беспроводной сети управления и сбора данных резервируется другой беспроводной технологической радиосетью, функционирующей в отличном от первой диапазоне радиочастот. Так, работа основных сегментов трубопроводной системы «Восточная Сибирь — Тихий океан» общей протяженностью около 5500 км обеспечивается широкополосной радиосетью обмена данными, а ее резервирование — узкополосной ТРОД ОВЧ диапазона, в составе которой разработчиками было предусмотрено использование 128 базовых станций и около 630 контролируемых объектов. Аналогичное техническое решение было реализовано на участке ответвления данной трубопроводной системы Сковородино — Мохэ (Китай), работа которого обслуживается с позиций шести базовых станций.

В отдельных проектах для резервирования кабельной сети АСУ ТП применяются беспроводные каналы сетей связи общего пользования — сотовой связи GSM/LTE, широкополосной связи по технологии IEEE 802.11 (WiFi) или даже любительских радиосетей малого радиуса действия LPD433<sup>10</sup>. Сюда же можно отнести сеть подвижной спутниковой радиосвязи (СПСР), которая также представляют собой средство связи общего пользования, владельцем которой является оператор связи. Такая сеть, как и сеть GSM/LTE, строится исходя из коммерческих предпочтений и для получения прибыли ее владельцем. Использование вышеперечисленных беспроводных сетей связи вполне допустимо в частных случаях, но является, как минимум, серьезным ограничением для большинства АСУ ТП в промышленности и на транспорте. Эти ограничения полностью исключаются в случае применения узкополосной технологической радиосети обмена данными, которая принадлежит эксплуатирующей ее организации и развертывается с учетом специфических требований этой организации. Поэтому в большинстве случаев создание и эксплуатация ТРОД оказывается более выгодной, чем подключение к сети связи общего пользования ещё и с финансовой точки зрения.

Положительный опыт практического создания и эксплуатации узкополосных технологических радиосетей обмена данными позволяет использовать их в качестве резервных на объектах промышленности и транспорта, что обеспечивает повышение надёжности работы АСУ ТП в повседневной обстановке и в случае аварий.

Основными оперативно-техническими характеристиками АСУ ТП, как и любой информационно-управляющей системы (ИУС), являются<sup>11</sup>:

- работа в [реальном масштабе времени](#);
- специфические требования по надёжности и безопасности функционирования;
- эксплуатационные и инструментальные особенности;
- непрерывный режим функционирования;
- отсутствие оператора (как правило);
- нештатные ситуации должны корректно разрешаться средствами самой системы;
- специфические требования к проектированию и отладке.

Технологические радиосети обмена данными в полном объеме удовлетворяют вышеуказанным характеристикам и имеют более высокие по сравнению с сетями общего пользования в целом и сетью подвижной спутниковой радиосвязи, как наиболее яркого их представителя в частности, оперативно-технические параметры, обеспечивающие:

Надежность<sup>12</sup> работы. В соответствии с техническими нормами показателей надёжности сети электросвязи коэффициент оперативной готовности<sup>13</sup> для сети передачи данных в СПСР составляет 0,99, в то время как в ТРОД в большинстве случаев этот коэффициент достигает значения 0,999.

Своевременность<sup>14</sup> доставки данных. В СПСР задержки в доставке данных могут изменяться в широких пределах, поскольку зависят от многих факторов, включая нагрузку на сеть, определяемую количеством подключенных к ней абонентов и генерируемым ими потоком данных, время передачи информации в направлениях «земля — борт» и «борт — земля», а также время обработки сигнала на борту спутника (группы спутников, если применяется межспутниковая связь). В ТРОД все задержки строго детерминированы, поскольку число подключенных абонентов и генерируемый ими поток данных точно определяются на этапе проектирования радиосети и остаются неизменным в процессе ее эксплуатации. Подключение новых устройств производится с учетом имеющейся пропускной способности радиосети и допустимых задержек в доставке информации.

Достоверность<sup>15</sup> циркулирующей в радиосети информации. Этот показатель примерно одинаков для двух видов радиосетей, однако, в ТРОД дополнительные мероприятия по повышению достоверности данных с учетом реальной обстановки могут оперативно выполняться владельцем сети, а в СПСР — только ее оператором исходя из целесообразности таких мероприятий для всех пользователей сети и самого оператора. При этом в ТРОД возможности внешнего воздействия на радиосеть, направленного на компрометацию данных, значительно ограничены за счет того, что доступ к радиосети имеют только «свои» пользователи.

Доступность<sup>16</sup> радиосетей обоих типов в обычной обстановке примерно одинакова, однако при внешнем воздействии и выводе из строя наземных компонентов системы управления радиосетью или космических ретрансляторов доступность СПСР может быть утрачена на длительный срок, а ТРОД имеет существенно более короткие сроки восстановления. При этом мероприятия по восстановлению доступности к ТРОД выполняются ее владельцем исходя из действующих приоритетов.

Скрытность<sup>17</sup> работы. Технические возможности по обнаружению работы ТРОД значительно уже, что обусловлено ограниченной зоной ее электромагнитной доступности (ЭМД), возможностью ее оперативного развертывания в любом районе на временной основе, изменения мест размещения базовых

станций и ретрансляторов и связанной с этим реконфигурацией зон ЭМД.

Живучесть<sup>18</sup> у технологической радиосети обмена данными существенно выше, чем у сети подвижной спутниковой радиосвязи поскольку:

- в составе ТРОД при работе в сопоставимой по размеру зоне ЭМД применяется большее количество ретрансляторов, которые распределены в пространстве. Выход из строя одного ретранслятора не приводит к нарушению работы всей радиосети;
- ТРОД может изначально создаваться как сеть повышенной надёжности и живучести за счет использования отказо- и катастрофоустойчивых технических решений<sup>19</sup>, предусматривающих дублирование наиболее важных компонентов и исключение единой точки отказа;
- в случае внешних воздействий ТРОД проще адаптировать к складывающейся обстановке, поскольку соответствующие мероприятия могут быть предусмотрены на этапе ее проектирования и выполняться специалистами владельца радиосети исходя из реальных потребностей.

Безопасность<sup>20</sup> циркулирующей в ТРОД информации оказывается выше в связи с более ограниченными возможностями по внешнему воздействию на радиосеть и вмешательству в ее работу. В связи с ограниченной зоной ЭМД для доступа в ТРОД и воздействия на нее необходимо находиться в пределах этой зоны. Мероприятия по защите информации проводятся владельцем радиосети исходя из текущих и вновь возникающих угроз, а также действующих приоритетов, перечень таких мероприятий значительно шире, чем допускается в СПСР.

Устойчивость<sup>21</sup> функционирования ТРОД определяется реальными требованиями ее владельца и может быть существенно выше аналогичного параметра в сети подвижной спутниковой радиосвязи. При этом технически параметры радиосети, например, выходная мощность базовых станций и аппаратуры пользователей, могут гибко адаптироваться к складывающейся оперативной обстановке в автоматическом режиме, в том числе, с использованием элементов искусственного интеллекта.


Целостность сети<sup>22</sup>. Данный параметр примерно одинаков для СПСР и ТРОД, однако возможности по интеграции в состав радиосети новых технических решений за счет адаптации уже эксплуатирующегося оборудования значительно шире. Кроме того, внедрение новых технологий в области ТРОД может происходить значительно быстрее, поскольку технологии СПРС оказываются более дорогими в части их практического воплощения (развертывания спутниковой группировки и обеспечивающей ее работу наземной инфраструктуры).

В настоящее время основная масса развернутых и эксплуатирующихся на территории Российской Федерации ТРОД использует зарубежное оборудование, в первую очередь, снятые с производства «прозрачные»<sup>23</sup> радиомодемы американского производства T-96SR (оборудовано в общей сложности около 6000 объектов) и Integra-TR (около 9000 объектов). Для замены радиомодема T-96SR выпущен радиомодем Guardian, который поставляется без ограничений и позволяет обеспечить работоспособность совместимых с ним радиосетей за счет замены выходящего из строя оборудования. Техническая поддержка радиосетей на радиомодемах Integra-TR прекращена в 2022 году, и замена оборудования за счет импортных поставок оказалась невозможной. В связи с этим специалистами ООО

«НЦПР» ведется разработка отечественного «прозрачного» радиомодема, который должен обеспечить замену радиомодема Integra-TR и возможность создания надёжных основных и резервных «прозрачных» ТРОД для поддержки работы АСУ ТП различного назначения.

Основные технические характеристики перспективного отечественного узкополосного «прозрачного» радиомодема, получившего наименование «Гепард-100/400И» представлены в Таблице 1.

1. Основные технические характеристики радиомодема «Гепард-100/400И».

Общие характеристики	Радиомодем «Гепард-100/400И»
	
Диапазон частот, МГц	146-174; 403-450
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	1,2
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс
Антенный вход	TNC
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10

Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), Ethernet RJ-45, USB
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача
Адресация	нет

Данный радиомодем может использоваться для организации основных или резервных ТРОД в интересах обеспечения работы АСУ ТП, использующих оборудование, в первую очередь, с последовательными интерфейсами RS-232/422/485. Для подключения более современного оборудования, имеющего сетевой интерфейс Ethernet, предусмотрен встроенный преобразователь интерфейсов, позволяющий использовать протокол обмена данными TCP/IP с определенными ограничениями.

Обслуживание современных АСУ ТП, использующих оборудование с интерфейсом Ethernet, должно выполняться радиомодемами, обеспечивающими обмен данными по протоколу TCP/IP в эфире. Такой радиомодем представляет собой более современное устройство, обладающее расширенными функциональными возможностями и получившее наименование «пакетирующий»<sup>24</sup>. Разработка первого отечественного «пакетирующего» радиомодема, обеспечивающего полную поддержку интерфейса Ethernet, ведется специалистами ООО «НЦПР». Предварительные технические характеристики данного радиомодема, получившего наименование «Гепард-100/400С», представлены в Таблице 2.

## 2. Предварительные технические характеристики радиомодема «Гепард-100/400С».

<b>Общие характеристики</b>	<b>Радиомодем «Гепард-100/400С»</b>
	
Диапазон частот, МГц	146-174; 403-450
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
Антенный вход	TNC
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, приём/ передача
Адресация	IP
Вспомогательные беспроводные интерфейсы	3G/4G WiFi IEEE 802.11b/g/n

Данный радиомодем должен стать близким к идеальному средством для создания надёжных ТРОД, поскольку он будет иметь дополнительные встроенные интерфейсы для подключения к сетям общего пользования GSM/LTE и WiFi. Выбор радиосети для обмена данными будет выполняться автоматически, в зависимости от условий приёма радиосигнала и загруженности сети. Кроме того, в устройстве планируется реализовать ряд дополнительных функций, которые позволят повысить надёжность функционирования технологических радиосетей, созданных с его использованием.

## **ВЫВОДЫ:**

1. Технические возможности современных узкополосных технологических радиосетей обмена данными ОВЧ и УВЧ диапазонов позволяют использовать их для обеспечения надежного функционирования АСУ ТП различного назначения как совместно с действующими кабельными сетями, так и в качестве их дополнения или замены.
2. Наиболее целесообразным представляется применение ТРОД на распределенных объектах промышленности и транспорта, где требуется организовать удаленное управление и сбор данных на значительных расстояниях, делающие прокладку и последующее содержание кабельной сети необоснованно затратной с финансовой точки зрения.
3. В настоящее время в Российской Федерации ведутся работы по созданию семейства современных радиомодемов, предназначенных для обеспечения надежного функционирования АСУ ТП различного назначения в повседневной обстановке и в случае возможных аварий. Завершение этих работ и переход к использованию новых изделий отечественного производства позволит разработчикам АСУ ТП повысить надёжность своих продуктов и расширить их функциональные возможности в части организации удаленного управления и сбора данных.

## Сноски

1. **Потёрна** (*фр. poterne*) – подземный коридор (галерея) для сообщения между фортификационными сооружениями, фортами [крепости](#) или опорными пунктами [укреплённых районов](#). ↩
2. **Угроза техногенная** – возможное вредное физическое, химическое и механическое воздействие на население и [среду обитания](#) в результате производственной деятельности человека, а также [аварий \(катастроф\)](#) на предприятиях. ↩
3. **План ликвидации аварий (ПЛА)** – документ, устанавливающий основные требования по организации локализации и ликвидации аварий. Разрабатывается на объектах, возможные аварии на которых могут причинить вред здоровью и жизни людей, нанести ущерб производственному оборудованию и помещению, а также привести к экологическим катастрофам. ↩
4. **Магистральная сеть связи** – транспортная телекоммуникационная инфраструктура, объединяющая отдельные станции, узлы и сегменты, к которой подключена распределительная сеть с абонентским оборудованием. ↩
5. **Радиорелейная связь** – один из видов наземной [радиосвязи](#), основанный на многократной ретрансляции радиосигналов. ↩
6. **Очень высокие частоты (ОВЧ)** – метровые волны в диапазоне от 30 до 300 МГц. ↩
7. **Ультравысокие частоты (УВЧ)** – дециметровые волны в диапазоне от 300 до 3000 МГц. ↩
8. Расширенный перечень организаций, использующих узкополосные технологические радиосети обмена данными ОВЧ и УВЧ диапазонов можно получить по ссылке: <https://flexlab.ru/about/partners>. ↩
9. **Основное производство** – часть производственного процесса, в котором непосредственно осуществляется изготовление продукции. ↩
10. **LPD433** (*англ. Low Power Device*) – диапазон радиочастот для маломощных устройств, входящий в международную сетку промышленных, научных и медицинских частот. ↩
11. <https://ru.wikipedia.org/wiki> ↩
12. **Надёжность** – [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. ↩
13. **Коэффициент оперативной готовности** – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени. ↩
14. **Своевременность** – способность связи обеспечивать доставку сообщений или ведение переговоров в заданные сроки. ↩
15. **Достоверность** – однозначное соответствие пакетов информации, переданных абонентским терминалом, являющимся одной стороной установленного соединения по сети передачи данных, и принятых абонентским терминалом, являющимся другой стороной данного соединения. ↩
16. **Доступность** – способность предоставлять пользователям доступ к ресурсам радиосети и сервисам в любое время. ↩
17. **Скрытность** – способность сохранять в тайне информацию, циркулирующую в системе, а также изменение структуры и характера функционирования. ↩
18. **Живучесть** – свойство системы, характеризуемое способностью выполнять установленный объём функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах. ↩
19. Технический бюллетень «Радиосети управления и сбора данных наземного (подземного), морского и воздушного базирования» [Выпуск 12 части 1 и 2: «Радиосети обмена данными для ответственных приложений»](#). ↩
20. **Безопасность** – способность сети электросвязи противодействовать определенному множеству угроз, преднамеренных или непреднамеренных дестабилизирующих воздействий на входящие в состав сети средства, линии связи и технологические процессы, которые могут привести к ухудшению качества услуг, предоставляемых сетью электросвязи. ↩

21. **Устойчивость функционирования** – способность сети электросвязи сохранять свою целостность в условиях эксплуатации, установленных производителями средств электросвязи, при отказе части элементов сети электросвязи, а также в условиях внешних дестабилизирующих воздействий природного и техногенного характера. ↩
22. **Целостность сети** – способность обеспечения взаимодействия средств электросвязи одной и той же сети электросвязи, а также сетей электросвязи между собой для целей установления соединений между пользователями услугами электросвязи. ↩
23. **«Прозрачный» радиомодем** – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования. Радиомодемы данного типа ещё называют телеметрическими, поскольку они обеспечивают минимальное время доступа к радиоканалу и не добавляют к потоку данных служебной информации. ↩
24. **«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. ↩