

# АНТЕННЫ ДЛЯ РАДИОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОПС ДАЛЬНОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

**В. Носков**  
д.т.н., главный конструктор  
радиоустройств «Объединения ОКО»,  
**В. Дробышев**  
главный конструктор «Объединения ОКО»

*«Опыт – дитя мысли,  
а мысль – дитя действия».*

*Б. Дизраэли*

*В журнале «Алгоритм безопасности» № 6 была опубликована статья «Радиоканальные системы ОПС дальнего радиуса действия. Проблемы внедрения и эксплуатации в условиях города. В. Дробышев», в которой был обобщен 15-летний опыт разработки, внедрения и эксплуатации радиооборудования систем централизованного мониторинга ОПС дальнего радиуса действия.*

*Развитием этой темы является тема применения антенн при внедрении и эксплуатации радиосистем ОПС в сложных условиях.*

*В радиосистемах ОПС применяются два вида антенн: базовые и объектовые.*

*Базовые антенны обеспечивают работу базовых станций (БС) радиосети, к которым относятся радиомодемы-ретрансляторы и радиомодемы-ПЦН. Как правило, условия установки и эксплуатации базовых антенн в отношении электромагнитной совместимости близки к идеальным. Различные производители предлагают широкий спектр разных типов антенн для любых частотных диапазонов. Поэтому их выбор, установка и эксплуатация не доставляет особых проблем.*

*Объектовая антенна абонентского передатчика (в отличие от базовой антенны) не только обеспечивает связь с базовыми станциями радиосети, но также является ключевым элементом локальной системы безопасности. Как правило, объектовая антенна устанавливается и эксплуатируется в очень неблагоприятных условиях. От параметров этой антенны и ее согласования, конструктивных особенностей и места установки существенно зависят дальность связи, надежность передачи сообщений на ПЦН и безопасность объекта. Эффективность объектовой антенны влияет на конфигурацию радиосети системы, количество ретрансляторов в радиосети и, следовательно, на стоимость системы в целом и эксплуатационные затраты.*

*Обсуждению некоторых особенностей применения базовых и объектовых антенн в радиоканальных ОПС дальнего радиуса действия посвящена данная статья.*

*В статье на примере серийных объектовых антенн, созданных для различных диапазонов частот, приводятся также результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования связанные различными вариантами применения.*

**Хорошая базовая антенна и хороший приемник как факторы надежной связи**

Итак, вы приобрели и развернули радиосистему централизованного мониторинга ОПС. Вы спроектировали и реализовали радиосеть ретрансляторов, обеспечивающую надежную связь с ПЦН в заданном географическом районе. Уже на этой стадии вы столкнулись с проблемами выбора места установки радиомодема, выбора типа антенн и монтажа антенно-фидерного оборудования. Возможно, что вы обнаружили помехи и столкнулись с некоторыми особенностями вашего частотного диапазона.

Вам пришлось решить эти проблемы, вы приобрели ценный опыт, который наверняка можно обобщить в нижеследующих тезисах:

1. Чем выше расположены антенны базовых станций, тем дальше и стабильнее связь между ними.
2. Если базовые станции находятся в пре-

делах прямой видимости и на их пути нет препятствий, то связь лучше, особенно в диапазонах частот VHF и UHF.

3. При работе в диапазонах СВ и LB можно добиться устойчивой связи между базовыми станциями, не имеющими прямой видимости. Преимущества диапазонов СВ и LB перед другими – лучшая проникающая способность радиоволн сквозь строительные конструкции и меньшие зоны затенения за ними благодаря лучшей дифракции радиоволн на строениях.
4. Выбор стандартных наружных стационарных антенн для всех частотных диапазонов огромен. Среди антенн разных производителей легко подобрать антенну с требуемой диаграммой направленности и усилением в соответствии с вашей архитектурой системы связи между базовыми станциями.

Если при развертывании радиосети вы столкнулись с помехами, то ваш опыт ста-

нет более многогранным.

Помехи бывают разными. Если помеха обнаружена на вашей рабочей частоте, то проблема решается просто. Вы обращаетесь в органы Госсвязнадзора, которые призваны решать такие проблемы административным способом.

Если помеха – продукт мощных внеполосных излучений, то решать эту проблему будете вы.

Вы убедитесь, что качество связи даже при хороших антеннах и удобном расположении базовых станций (прямая видимость) очень сильно зависит от избирательности радиоприемного тракта, от его способности отсеивать внеполосные излучения. В сложных случаях (при высоком фоне или при слабой избирательности радиоприемника) приемный тракт радиомодема может быть «задавлен», что приведет к большим потерям сигналов.

Компенсировать такой недостаток приобретенного радиооборудования можно с помощью полосового фильтра. Правда обойдется это недешево, в 15000...20000 руб.

Если вы не «заметили» помех, значит, вам, по крайней мере, хотя бы один раз повезло. Либо в вашем городе нет радиосетей с мощным излучением на соседних частотах, либо вы приобрели качественное радиооборудование.

#### Хорошая базовая антенна как фактор ненадежной связи

Это один из технических парадоксов, когда слишком хорошо бывает «плохо».

При работе в рамках одной радиосети на одной частоте большого количества объектовых радиопередатчиков в спорадическом режиме (т.е. выходящих в эфир случайным образом) неизбежно возникают взаимные помехи.

Как правило, объектовые радиопередатчики в реальной радиосистеме ОПС рассредоточиваются на большой территории. В этом случае самым простым и естественным способом борьбы с взаимными помехами является метод разнесенного приема. Прием сигналов осуществляется несколькими радиомодемами-ретрансляторами, распределенными по всей территории.

При этом радиомодемы-ретрансляторы, имеющие антенны с меньшим коэффициентом усиления и меньшей зоной покрытия (расположенные ниже), но распределенные по территории обеспечат лучший прием, чем один радиомодем с антенной, имеющей большой коэффициент усиления, расположенной очень высоко и покрывающей всю территорию.

#### Объектовая антенна как фактор безопасной, надежной и «незаметной» связи

Если объект охраняется по радиоканалу, то антенна объекта является ключевым элементом системы безопасности этого объекта. Нет антенны – нет связи.

В случае охранных и охранно-пожар-

ных систем для защиты от посягательств антенны устанавливаются скрытно, как правило, внутри помещений под контролем датчиков. Условия для функционирования антенн на большинстве объектов в этом случае достаточно сложные. Это, прежде всего, непосредственная близость строительных конструкций к антеннам, особенно при их скрытой установке. Ограниченность помещений и рабочего пространства около антенн, стесненность из-за наличия на объектах громоздких металлических конструкций и предметов, машин и механизмов, оборудования и различных материалов. С целью укрепления безопасности объектов на окнах, балконах и дверях большинства из них установлены решетки; стены и перекрытия обшиты листовой сталью. Бетонные конструкции, как правило, насыщены арматурой, подземные сооружения и подвалы имеют толстый слой наката. Тонированные стекла окон, дверей, витрин и витражей многих современных зданий покрыты металлической пленкой. Густая сеть силовой и осветительной проводки, сигнальных проводов на большинстве объектов – также оказывает влияние на характеристики антенн и их диаграммы направленности.

Для работы в данных условиях объектовые антенны наряду с очевидным требованием хорошего согласования должны удовлетворять целому ряду специфических требований:

- иметь высокий коэффициент усиления и пониженную чувствительность параметров к близкому расположению предметов;
- обеспечивать условия формирования радиоволн с пониженным затуханием при их прохождении через строительные конструкции;
- иметь простую законченную конструкцию, не требующую доработки и монтажа дополнительных элементов, например, вибраторов, противовесов и пр.;
- обеспечивать возможность несложной регулировки и настройки в расчете на обслуживание персоналом без высокой профессиональной подготовки;
- иметь малые габаритные размеры, элементы крепления и установки на основания и стены.

Анализ приведенных выше условий работы и специфических требований к объектовым антеннам показал, что некоторые из этих требований находятся в принципиальном противоречии. Наиболее полное разрешение их – это путь к созданию оптимальных специализированных объектовых антенн. Только такой путь гарантирует создание эффективных антенн, наиболее полно удовлетворяющих перечисленным выше требованиям к объектовым антеннам.

Рассмотрим особенности применения различных типов антенн на примере использования серийных объектовых антенн типов «АНТЭЛ» и «МАРТ».



Рис. 1. Внешний вид вариантов исполнения объектовых антенн «АНТЕЛ».



Рис. 2. Внешний вид вариантов исполнения объектовых антенн «МАРТ».

#### Типы исследуемых объектовых антенн

Электрические антенны типа «АНТЕЛ» представляют собой резонансный вибратор, возбуждающий преимущественно электрическую составляющую электромагнитного поля. Примерами электрических антенн, широко используемых в качестве объектовых, являются стандартные штыревые и спиральные антенны (так называемые «резинки»).

Для экспериментов использовались электрические антенны «АНТЭЛ» (для работы на частотах общего пользования 26945 кГц и 26960 кГц):

- для частотного диапазона 33-48 МГц;
- для частотного диапазона 146-173 МГц;
- для частотного диапазона 433-470 МГц.

Малые габариты и вес обеспечивают возможность скрытой установки антенн без нарушения интерьера помещения.

Достоинствами антенн являются также легкость настройки и согласования, законченность конструкции и слабое влияние на ее параметры посторонних предметов и изменений в обстановке.

Магнитные антенны рамочного типа (или просто «МАРТ») представляют собой резонансную рамку, возбуждающую преимущественно магнитную составляющую электромагнитного поля. Эта составляющая обладает значительно меньшим затуханием при прохождении в различных средах, в том числе ферромагнитных. Благодаря этому магнитные антенны обеспечивают существенно лучшие по сравнению с электрическими антеннами условия передачи радиосигнала изнутри строений – как тонированных и зарешеченных, так и армированных и железобетонных. Достоинствами антенн являются также малые габариты и вес, легкость настройки и согласования, отсутствие противовеса и слабое влияние на ее параметры посторонних предметов и изменений в обстановке.

Для экспериментов использовались серийные магнитные антенны «МАРТ-СВ» для работы на частотах общего пользования 26945 кГц и 26960 кГц:

- для частотного диапазона 33-48 МГц;
- для частотного диапазона 146-173 МГц;
- для частотного диапазона 433-470 МГц.

### Некоторые общие рекомендации по применению объектовых антенн разного типа

Многолетний опыт применения объектовых антенн позволяет сделать условную классификацию объектов по степени «трудности» получения устойчивого прохождения сигналов. На первом месте, безусловно, находятся подвальные и полуподвальные помещения, гаражные боксы и складские помещения. На втором – здания из крупнопанельного железобетона, шлакоблочные

здания (шлак металлургический), помещения первого этажа обычных зданий. На третьем – остальные строения из кирпича, шлакоблока (шлак энергетический), древесины и пр. В данной классификации исключения составляют, естественно, «неординарные» объекты, требующие особого подхода к решению задачи о прохождении сигналов. Примеров таких объектов также много. Можно выделить из них, например, чрезвычайно удаленные объекты и объекты, закрытые сложным рельефом местности или строениями. Близость к объекту высоковольтной ЛЭП или электрифицированной железной дороги также усугубляет ситуацию с прохождением сигналов.

Обследование любого объекта, который необходимо «взять под охрану», независимо от его места в приведенной классификации, начинается с проверки прохождения с него сигналов. При этом выбираются также тип и место установки объектовой антенны. На сегодня общепринят эвристический подход к решению данной задачи. Суть его состоит в том, что при обследовании объекта производится простой перебор различных вариантов антенн и мест их установки. При этом каждый вариант оценивается, исходя из ряда критериев, среди которых следует указать в порядке приоритетов: количество и состав задействованных ретрансляторов; уровень сигнала, принимаемого на другом конце канала связи; возможность скрытой установки антенны; приемлемость выбранного варианта заказчиком; надежность и стабильность прохождения сигнала во времени и пр.

Важность первого критерия диктуется необходимостью борьбы с замираниями сигналов и их пропаданиями, вызванными многолучевым распространением радиоволн. Данный метод борьбы, известный как метод разнесенного приема, реализован в радиосистемах, использующих сеть ретрансляторов. Сезонные, суточные, погодные и другие изменения условий распространения радиоволн вызывают изменения амплитудно-фазовых соотношений парциальных

волн и, соответственно, уровня результирующего сигнала. Слабый по уровню сигнал более подвержен данному явлению, поскольку объект находится в этом случае в зоне неуверенного приема. Поэтому данные факторы необходимо учитывать еще на стадии обследования объектов и отслеживать их постоянно в процессе эксплуатации системы.

Если в результате обследования объекта и в процессе работы системы выяснилось, что сигналы с объекта вообще не проходят, проходят, но слабо, неустойчиво, количество ретрансляторов, принимающих сигналы недостаточно для надежной работы системы, то данная проблема однозначно решается только постановкой в данном микрорайоне дополнительного ретранслятора.

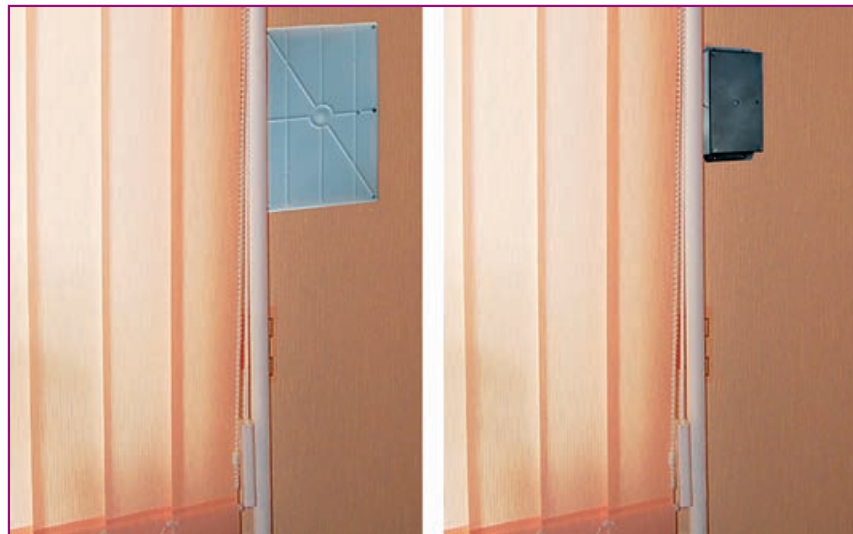
Из опыта применения объектовых антенн выявлены некоторые закономерности и предпочтения выбора того или иного варианта антенны в зависимости от типа строения. Так, например, установлено, что в зданиях, стены которых слабо поглощают радиоволны, – это кирпичные и деревянные дома, предпочтительно использование электрических антенн. В крупнопанельных и железобетонных зданиях положительный результат достигается чаще с помощью магнитных антенн, которые обеспечивают лучшие проникающие способности радиоволн через строительные конструкции. Место установки также влияет на выбор типа антенны. Рассмотрим более подробно данные положения на конкретном примере.

Офис одной из фирм располагался на втором этаже типового здания, выполненного из крупных железобетонных панелей. Устойчивого прохождения сигнала с этого объекта удалось добиться только при установке штыревой антенны в проеме окна, выходящего на балкон. Противовесом являлся радиатор центрального отопления.

Через некоторое время после сдачи объекта под охрану обнаружилось отсутствие прохождения сигналов. Оказалось, что в соответствии с предписанием охранного предприятия, объект был дополнительно «укреплен» установкой решеток на оконные проемы и балконы. Даже незначительный вынос антенны за пределы решеток был достаточен для возобновления связи, но изнутри сигналов не было. Положение спасла магнитная антенна «МАРТ». После подключения ее к передатчику сигналы шли практически с любого места, в том числе с пола «лежа». Такие «пробивные» способности магнитной антенны позволили установить ее скрытно, за книжным шкафом. После этого перебоев в связи на данном объекте не было. Подобных примеров, подтверждающих преимущества магнитных антенн на «трудных» объектах, можно привести достаточно много. Данную ситуацию на объекте рассмотрим более подробно.

Известно, что наружные стены крупнопанельных зданий, перекрытия и перегородки содержат густые проволочные сетки, действующие как хороший экран для электромагнитных волн в широком диапазоне

Рис. 3. Монтаж антенн типа «МАРТ» для возбуждения стояка центрального отопления.



частот. Ослабление при прямом прохождении радиоволн диапазона СВ (27 МГц) через панель со сплошной сеткой составляет 40-50 dB [1]. Отсутствие соединений арматуры в местах стыковки панелей, наличие оконных и дверных проемов, а также дефекты в монтаже арматуры и сетки снижают экранирующее действие железобетонных конструкций, особенно в диапазонах с меньшей длиной волны радиоизлучения. Так, например, в диапазоне СВ (11 м) затухание радиоволн при прямом прохождении через оконные проемы стандартных размеров составляет не менее 30 dB [1], а радиоволны диапазона UHF (430-470 МГц) проходят через оконные проемы практически без потерь. Окно действует как щелевая антенна, свойства которой, как известно [2], подобны свойствам проводника, окруженного диэлектриком, т.е. электрической антенны. Поэтому для электрической антенны в панельном доме самое лучшее место, где она способна обеспечить устойчивую радиосвязь, особенно в низкочастотных диапазонах (СВ – 27 МГц и ЛВ – 33...57,5 МГц), – это оконный проем. Аналогично действуют и места стыковки панелей, где «просвет» между арматурой также обеспечивает прохождение радиоволн, но с несколько большим затуханием, чем окна.

Магнитные силовые линии, создаваемые магнитной антенной, легко проходя через ячейки арматуры наружу здания, возбуждают там электрическую составляющую электромагнитного поля. Далее эти линии магнитного поля, снова пронизывая ячейки арматуры, но в других местах, замыкаются на себя. Таким образом «вышедшая» наружу магнитная составляющая поля, порождая электрическую составляющую, возбуждает электромагнитную волну за пределами здания. В этом состоит суть преимущества магнитных антенн перед электрическими антеннами, у которых возбуждаемая электрическая составляющая замыкается не на себя, а на противоположный вибратор (противовес). При этом металлические предметы, арматура, в которых возникают высокочастотные токи смещения, экранируют излучение, препятствуя прохождению радиоволн через стены наружу.

Отсюда становится очевидным, что «пробивные» свойства магнитных антенн проявляются лишь в ближней зоне, на расстояниях порядка длины волны излучения. Поэтому для их установки желательно выбирать место в непосредственной близости к той стене, через которую, в основном, следует «пройти» радиосигналу. Кроме того, при монтаже антенн на стене предпочтительно выбирать их ориентацию длинной стороны вертикальной, поскольку в таком случае их усиление в горизонтальной плоскости наибольшее.

Представляет интерес далее рассмотреть некоторые вопросы нетрадиционного использования объектов антенн типа «МАРТ».

В ходе большого числа экспериментов на различных объектах, направленных, как

обычно, на достижение устойчивой радиосвязи, оказалось, что сама магнитная антенна является хорошим согласующим устройством. С помощью ее легко «возбудить» и согласовать с радиопередатчиком, например, «суррогатные» антенны типа стояков центрального отопления, труб подачи воды и пр. Для этого достаточно подвести вплотную с трубой «магнитный» край рамки, где находится место подключения к согласующему устройству (рис. 3), и подстроить антенну на минимальный коэффициент стоячей волны (КСВ). При этом между рамкой и трубой образуется сильная трансформаторная связь, возбуждающая высокочастотные токи в трубе стояка. Таким образом, стояк превращается в весьма внушительную «антенну», выходящую далеко за пределы объекта и на достаточно большую высоту. Благодаря этому условия прохождения сигналов с объекта существенно улучшаются. Применение данного метода позволило «брать под охрану» некогда «неперспективные» объекты, находящиеся в подвальных помещениях, из которых радиосигналы не проходили ни при каких типах антенн.

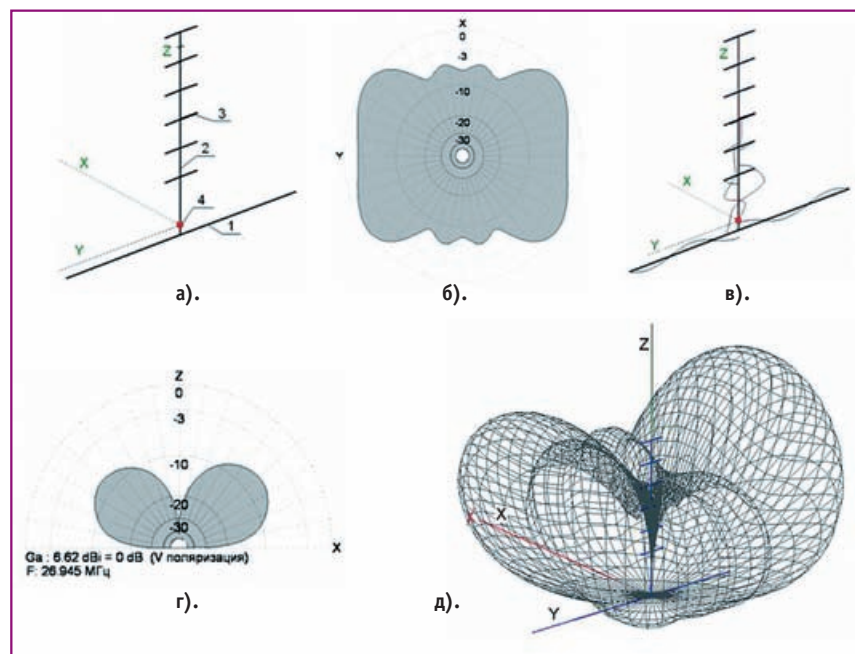
Результаты моделирования с помощью программы MMANA [3] этого интересного случая без учета затухания радиоволн в строительных конструкциях зданий представлены на рисунке 4. В геометрию модели заложены (рис. 4, а):

1. Распределительная труба центрального отопления, обычно проходящая вблизи пола подвального помещения.
  2. Стояк высотой 20 м для 5-этажного дома.
  3. Отводы с радиаторами длиной по 2 м.
  4. Место возбуждения стояка антенной «МАРТ».
- Коэффициент усиления получившейся

«антенны» в максимуме составляет 6,6 dBi, что почти в 3 раза выше, чем у полноразмерного диполя. В диаграмме направленности практически отсутствуют глубокие провалы, ее неравномерность усиления по азимуту не более 7,5 dBi (рис. 4, б и г). Из диаграммы распределения токов (рис. 4, в) видно, что основной вклад в излучение «антенны» вносят участки стояка первого и второго этажей, заметно меньше – третьего. Моделирование при вариациях точки возбуждения (4) по высоте показало, что коэффициент усиления и форма диаграммы направленности (рис. 4, д) зависят от ее положения на стояке относительно основания. Лучшие результаты получаются при расположении рамки в пучности тока «антенны», т.е. в самом низу стояка. Аналогичные точки возбуждения можно найти и на других этажах здания. Поэтому для каждого случая применения данного способа необходимо экспериментально находить свою оптимальную точку возбуждения.

Другой случай оригинального применения объектовой антенны «МАРТ» был связан с решением проблемы прохождения сигналов из полностью металлического гаража. Данная проблема была решена благодаря использованию «гусака» – трубы, изогнутой в форме шеи упомянутой птицы, которая предназначена для ввода гаражной электропроводки. Эта труба выходила из гаража горизонтально через отверстие в его боковой стенке (труба не касалась этой стены) и далее поднималась вверх на высоту около 2 м, где завершалась приваренной к ней поперечиной для крепления изоляторов. Геометрия модели для данного случая приведена на рисунке 5, а. Точка пересечения осей – место возбуждения трубы. Выбором положения антенны «МАРТ», прижа-

Рис. 4. Результаты моделирования возбуждения антенной «МАРТ-СВ» стояка центрального отопления: (а) – геометрия модели; (б) – ДН в горизонтальной плоскости; (в) – диаграмма распределения токов; (г) – ДН в вертикальной плоскости (сечение по оси X); (д) – объемное изображение ДН.



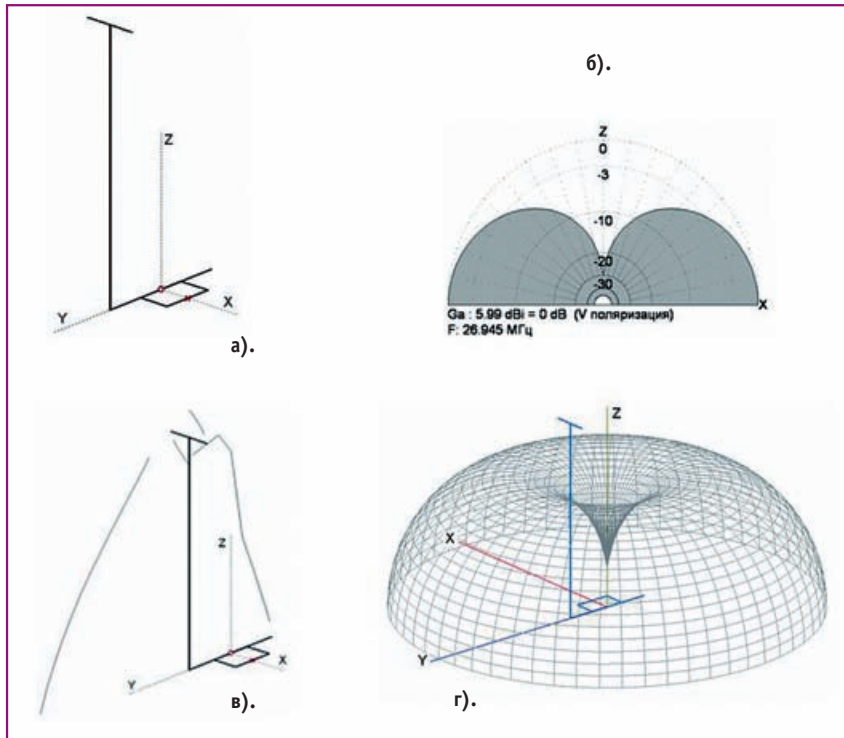


Рис. 5. Результаты моделирования возбуждения антенной «МАРТ-СВ» трубы для ввода гаражной электропроводки: (а) – геометрия модели; (б) – ДН в вертикальной плоскости; (в) – диаграмма распределения токов; (г) – объемное изображение ДН.

той к отрезку трубы внутри гаража так же, как показано на фотографии (рис. 3) удалось добиться устойчивого прохождения сигналов на ПЦН. Анализ результатов моделирования, представленных на рисунке 5, б-г, показал, что в данном случае получилась достаточно эффективная «антенна» вертикальной поляризации с круговой диаграммой направленности и коэффициентом усиления  $G_a = 6$  dBi.

Аналогичным образом удалось добиться прохождения сигналов с насосной станции. Корпус станции – цельнометаллический ящик без щелей и отверстий. Питание к насосу подводилось по зарытому в землю кабелю от ближайшего распределительного столба. После установки антенны «МАРТ» вплотную с силовым кабелем и ее подстройки проблема «взятия под охрану» данного объекта была также решена.

Еще один пример, полезный для специалистов, отвечающих за «чистоту» эфира, – это применение антенн «МАРТ» для пелен-

гации источника радиопомех. В этом случае используются направленные свойства рамки. Грубое определение направления производится по максимальному показанию S-метра на выходе поискового приемника, а более точное – по его минимуму. Минимальное показание, как известно, соответствует направлению на источник помех, когда оно перпендикулярно плоскости рамки, а максимальное – когда совпадает с ее плоскостью.

### Антенна без антенны

В заключение данной статьи есть смысл несколько развить начатую выше тему суррогатных антенн, когда в качестве излучателя используются некоторые элементы конструкций на самом объекте. Иными словами, решить проблему «антенны без антенны».

Довольно часто стоит задача защиты от посягательств объектов, которые представляют собой полностью электрически герметичные (экранированные) стальные контейнеры, например, ларьки, гаражи, ангары,

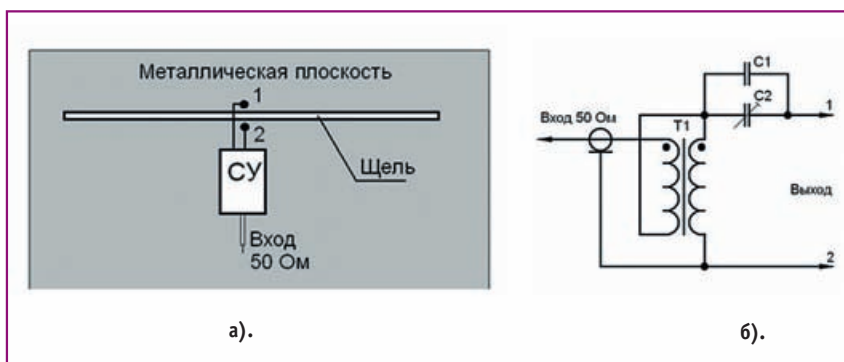
трансформаторные подстанции, распределительные щиты, насосные станции и пр. Никакая «штатная» антенна не способна «пробить» сигнал изнутри таких объектов. Установка наружной антенны – безнадежна. Однако, «радиотехнический взгляд» на данные объекты может обнаружить немало элементов конструкции, которые с успехом можно использовать в качестве антенны.

Например, для реализации щелевой антенны на большинстве таких объектов можно найти естественные зазоры или щели на внешней поверхности конструкции, например, неплотные стыки листов обшивки, просвет между кровлей и стеной и пр. В некоторых случаях такие щели или прорезы можно сделать специально, не снижая «укрепленность» объекта, можно сделать конструктивные дополнения и изменения, которые затем нетрудно замаскировать, покрыть штукатуркой, закрасить и т.п. Вариантов подобных решений достаточно много. Для получения вертикальной поляризации излучения желательно выбирать горизонтальные щели, длина и ширина их особого значения не имеют, но лучше использовать щели длиной не более половины длины волны излучения. Схема подключения к такой «антенне» показана на рисунке 6, а. Рассмотрим более подробно основные свойства щелевой излучателя.

Свойства электромагнитного излучения у щели те же, что и у электрического вибратора, но с обратным распределением магнитной и электрической составляющих электромагнитного поля [2]. Поэтому плоскости поляризации излучения у них меняются местами, т.е. горизонтальной щели соответствует вертикальная поляризация, а вертикальной щели – горизонтальная. Диаграмма направленности полуволновой горизонтальной щели имеет форму восьмерки в горизонтальной плоскости, как у рамочной антенны, максимум излучения перпендикулярен плоскости экрана. При этом узкая щель в точках 1-2 (рис. 6, а) имеет входное сопротивление около 480 Ом, а с ее расширением входное сопротивление медленно убывает. Для согласования антенны с коаксиальным кабелем в заданных точках подключения нужно использовать согласующие устройства, имеющие коэффициент трансформации сопротивлений 9:1 [4]. Смещением точек подключения 1-2 относительно центра также можно добиться согласования, т.к. перемещение их к одному из концов щели вызывает уменьшение входного сопротивления антенны без заметного изменения ее диаграммы направленности.

Уменьшение длины щели эквивалентно уменьшению высоты электрического вибратора и, соответственно, коэффициента усиления антенны. При этом у щели появляется индуктивная составляющая входного сопротивления, а резистивная – быстро уменьшается. Индуктивная составляющая легко компенсируется с помощью подбора емкости конденсаторов С1 и С2, включенных последовательно в выходную обмотку согласующего широкополосного трансфор-

Рис. 6. Схемы щелевой антенны (а) и одного из возможных вариантов согласующего устройства (б).



матора, как показано на *рисунке б, б*, а резистивная – подбором коэффициента трансформации T1 или изменением точек подключения 1-2, если это возможно [5].

При настройке щелевой антенны можно обойтись обычным измерителем КСВ и передатчиком на заданную частоту, но значительно легче это сделать, пользуясь вместо передатчика перестраиваемым по частоте генератором. В таком случае хорошо видно местоположение собственного резонанса щели. Еще лучше для работы обзавестись несложным в применении и недорогим переносным прибором – анализатором антенн MFJ-259, совмещающим в себе одновременно несколько функций. Среди них есть перестраиваемый по частоте генератор в диапазоне от 1,8 до 170 МГц, частотомер до 200 МГц, мостовой измеритель КСВ и входного сопротивления антенн и др. Описание данного прибора можно найти в книге [6], а также в Интернете.

Опыт использования щелевых антенн на ряде объектов показал, что эффективность такого технического решения очень высокая. Многочисленные злоумышленники, пытавшиеся проникнуть на охраняемые объекты, даже после их задержания не могли поверить, что объект был оборудован радиосигнализацией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный многолетний опыт применения выпускаемых в объединении «ОКО» объектовых антенн типов «МАРТ» и «АНТЭЛ», а также представленные в настоящей работе результаты проведенных исследований их параметров и характеристик показали, что данные антенны при умелом их использовании отличаются высокой эффективностью в работе, удобством при выполнении монтажных, пусконаладочных работ на объектах, а также при обслуживании и поэтому широко используются при развертывании радиоканальных охранно-пожарных систем «ОКО» в различных регионах России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Короленков А.В. Определение коэффициентов прохождения декаметровых волн через железобетонную стену с отверстием // Радиотехника. – 1990, № 3. – сс. 5-7.
2. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1977. – 440 с. – ил.
3. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. Часть 1. Компьютерное моделирование. ММАНА. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с. – ил.
4. Захаров В. Согласующие устройства на ферритовых магнитопроводах // Радио. – 1987, № 6. – сс. 26-29.
5. Боглов А., Гончаренко И. Кузов автомобиля в качестве антенны // Радиолюбитель. – 1996, № 11. – сс. 37-38.
6. Садченков Д.А. Техника и возможности Си-Би радиосвязи. // М.: Солон-Р, 2001. – 269 с. – ил.