

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ТРАНКИНГОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫБОРУ И ПОСТРОЕНИЮ ЕЕ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

Харченко К.П., главный конструктор компании ООО "НПФ "Антенна XXI"

продолжение, начало см. № 6 (24) 2002 г.

Среди многообразия вибраторных синфазных антенных решеток с поперечным излучением сразу и безоговорочно выделим зигзагообразную антенну (коротко - зиг-антенна) [3]. Выделим ее не потому, что автор данной статьи является одновременно и автором зиг-антенны, а потому, что она объективно, в результате многолетней практики завоевала авторитет и признание в средствах связи Вооруженных Сил СССР, Министерства связи, на телевидении.

Основанием для такой популярности послужили простота конструкции, широкий диапазон рабочих частот и самый большой удельный КУ на единицу поверхности при одной паре точек питания среди известных на сегодня антенн с плоским экраном.

Представляет интерес полотно зиг-антенны. Оно схематично показано на рис. 4 и состоит из восьми прямолинейных проводников длиной l , образующих две ромбовидные ячейки с зазором Δ между ними, в который вводят ЭДС возбуждения. Все проводники полотна последовательно замкнуты друг на друга. Антенна симметрична. Согласно схеме ее возбуждения точки п-п ее полотна являются точками нулевого потенциала. В принципе, этим обстоятельством широко пользуются, закрепляя полотно антенны над токопроводящим плоским экраном с помощью металлических стоек без нарушения электрической симметрии антенн и без возникновения антенно-фидерного эффекта при питании коаксиальным фидером.

Антенна имеет четко выраженную линейную поляризацию. Направление вектора E на рис. 4 показано стрелкой. Линейная поляризация обусловлена следующими причинами. При введении эдс возбуждения, на проводниках полотна антенны возникает стоячая волна тока с пучностью в точках п-п. В пределах полуволны ток течет (направлен) в одну сторону. После чего его направление скачком изменяется на противоположное. Тем самым в один из моментов времени (при $l = \lambda/4$) распределение тока по полотну может быть представлено так, как показано на рис. 4, где стрелками обозначены направления токов на каждом из восьми проводников. Наклонные токи можно разложить на вертикальные и горизонтальные составляющие, как показано там же пунктирными стрелками.

Нетрудно видеть, что все вертикальные составляющие токов направлены в одну сторону (находятся в фазе), а все горизонтальные составляющие направлены попарно противоположно (находятся в противофазе). В результате поля излучения вертикальной ориентации складываются, а поля горизонтальной ориентации взаимно компенсируются.

Антенна хорошо согласуется как с 75-омным коаксиальным фидером, так и с 50-омным, [4].

Плоский токопроводящий экран (рефлектор) может быть выполнен сплошным (из металлического листа) или выполнен решетчатый из ме-

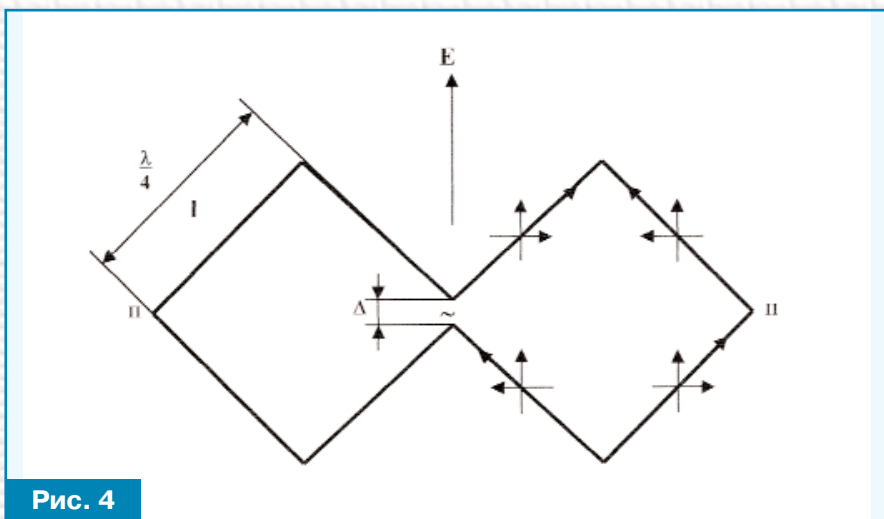


Рис. 4

таллических трубок. Если стационарная абонентская антенна размещается на стене здания, то выгоднее (экономически) использовать сплошной рефлектор.

При геометрических размерах рефлектора, равных:

$S_{\text{геом}} = a \times b = 0,52\lambda \times 0,8\lambda \approx 0,42\lambda^2$, зиг-антенна имеет коэффициент направленного действия (**КНД**) порядка 11 дБi, т.е.:

$$\text{КНД} = 4\pi S_{\text{эф}}/\lambda^2 = 12,6 \quad (12).$$

Согласно (12) ее эффективная поверхность равна:

$$S_{\text{эф}} = 12,6 \lambda^2/4\pi \approx \lambda^2 \quad (13).$$

При этом коэффициент использования поверхности (**КИП**) зиг-антенны составит отношение:

$$\text{КИП} = S_{\text{эф}}/S_{\text{геом}} = \lambda^2/0,42\lambda^2 \approx 2,38 \quad (14).$$

В качестве примера вспомним соотношение (4), где $\text{КИП} \approx 1$; для параболических антенн $\text{КИП} \approx 0,5$; для оптимальных рупорных СВЧ-антенн $\text{КИП} \approx 0,8$.

На рис. 5 и рис. 6 приведены **ДН** зиг-антенны в **Е** и **Н** плоскостях поляризации соответственно для размеров $l \approx 0,25\lambda$; $h \approx 0,25\lambda$, где **h** - расстояние между плоскостью экрана и полотном антенны. **ДН** зиг-антенны близки к веретенообразным, когда во всех плоскостях сечений, проходящих через направление главного излучения, **ДН** имеют примерно одинаковые углы раскрыва по половинной мощности.

Диапазон рабочих частот зиг-антенны достаточно широк ($f_{\text{max}}/f_{\text{min}} \approx 2 \div 2,5$), что позволяет ей работать даже в режиме сильного обледенения без ощутимого изменения своих электрических параметров (антенна остается "тупой" и не реагирует на внешние воздействия осадков).

Зиг-антенна может быть выполнена конструктивно полностью сварной, без применения диэлектрика в качестве крепежного или силового элемента, что делает ее механически прочной, надежной и долговечной. По совокупности свойств у нее, можно сказать, отсутствуют недостатки. Поэтому зиг-антенну и ее модификации можно увидеть на мачтах-опорах средств связи, а также на крышах домов и хат в индивидуальном пользовании по всему бывшему СССР и за его пределами.

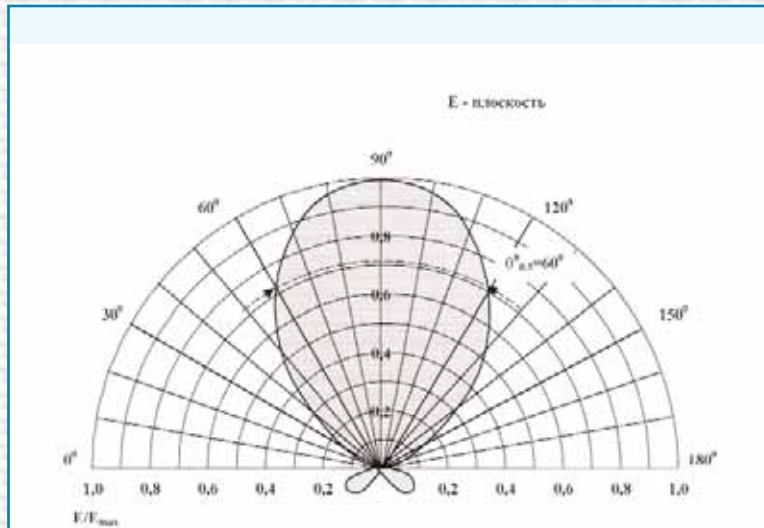


Рис. 5

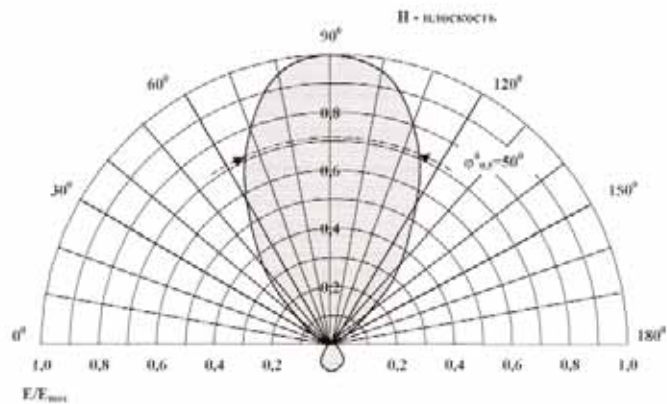


Рис. 6

Рис. 5, 6

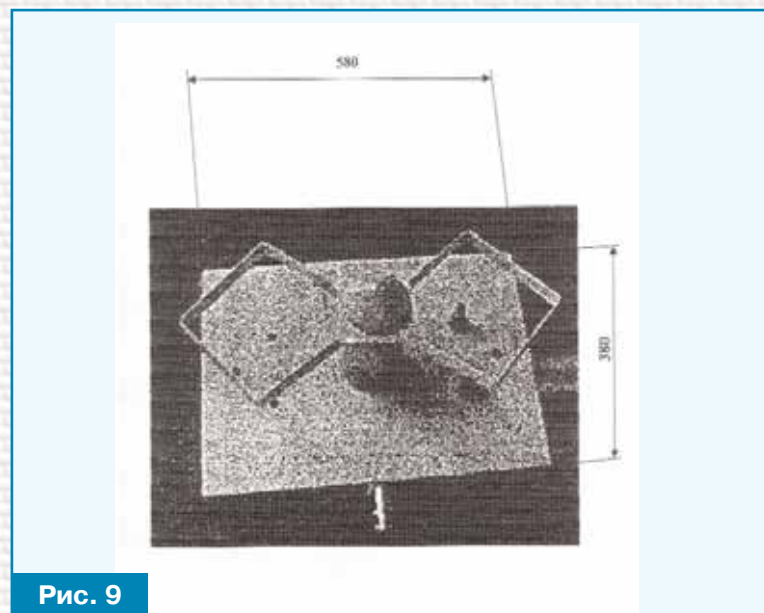


Рис. 9

С целью повышения надежности связи можно увеличить вдвое КУ зиг-антенны путем построения синфазной двухэлементной решетки Е-типа. Ее ДН в Е и Н плоскостях поляризации показаны на рис. 7 и 8 соответственно, а КНД достигает 14дБi, что намного превосходит КНД абонентской мобильной антенны, вынужденной работать в той же системе связи.

Внешний вид одной из разработок зиг-антенны со сплошным рефлектором показан на рис. 9.

На рис. 10 и 10а показана разработка синфазной решетки Е-типа составленной из двух зиг-антенн. Их размеры приведены для диапазона частот $\Delta f = 415 \div 450$ МГц. Зиг-антенна грозозащищена. Имеет герметизацию ответственных узлов (точек питания, разъемов), что защищает от воздействия метеоусловий стыки токонесущих проводников.

На рис. 10б показана решетка из четырех зиг-антенн с КНД = 17 дБи.

Все варианты антенн абонентских стационарных могут быть снабжены уже разработанными узлами крепления с возможностью ориентации направления главного излучения в вертикальной и горизонтальной плоскостях с конечной целью фиксации антенны на объекте в направлении прихода радиоволн от базовой станции с максимальным уровнем для данных конкретных условий.

Выбирая антенны абонентские мобильные, приходится преодолевать собственные противоречивые побуждения типа: "хочу это, но не имею возможности"; "имею возможность иметь это, но не хочу", вызванные функциональными условиями размещения антенн на подвижных объектах связи. Так как КУ этих антенн желательно иметь как можно большим, а размеры (высоту) - как можно меньшими, то эти требования выводят одновременно на первый план и электрические параметры антенны и эксплуатационные, обусловленные ее конструкцией. А так как и первое, и второе связано с принципом действия антенны антагонистично, то и трудности кажутся непреодолимыми.

На современном рынке автомобильных антенн штыревого типа нет никаких проблем подобрать нечто, предназначенное для работы в отведенном для транкинговой системы связи диапазоне частот. Однако, это

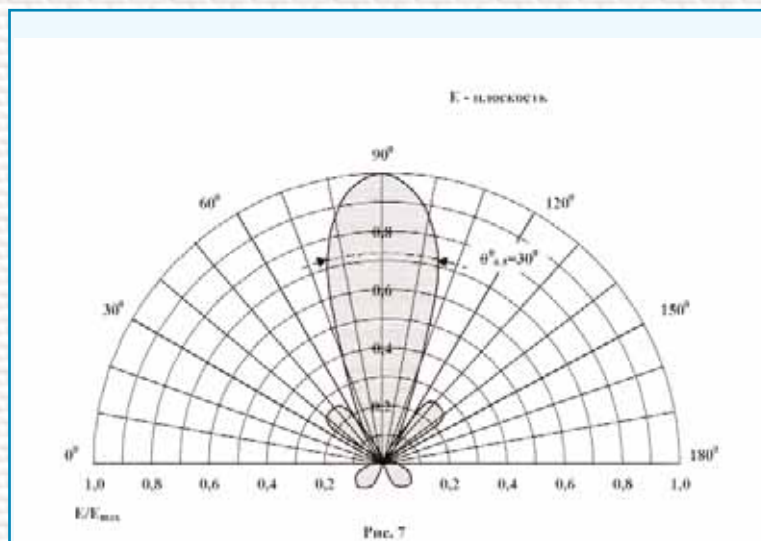


Рис. 7

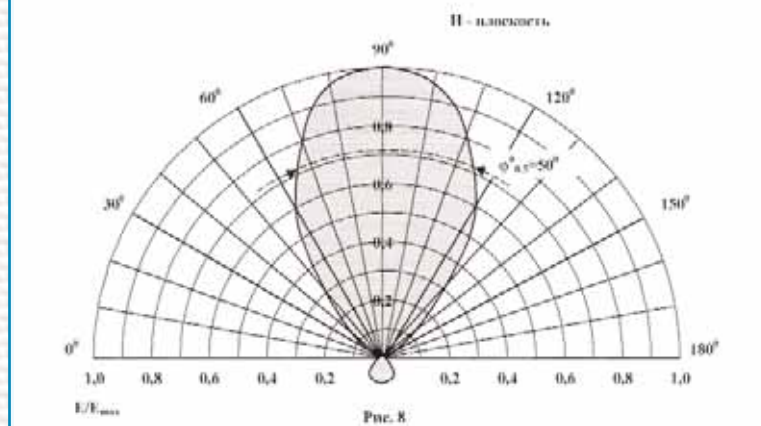


Рис. 8

Рис. 7, 8

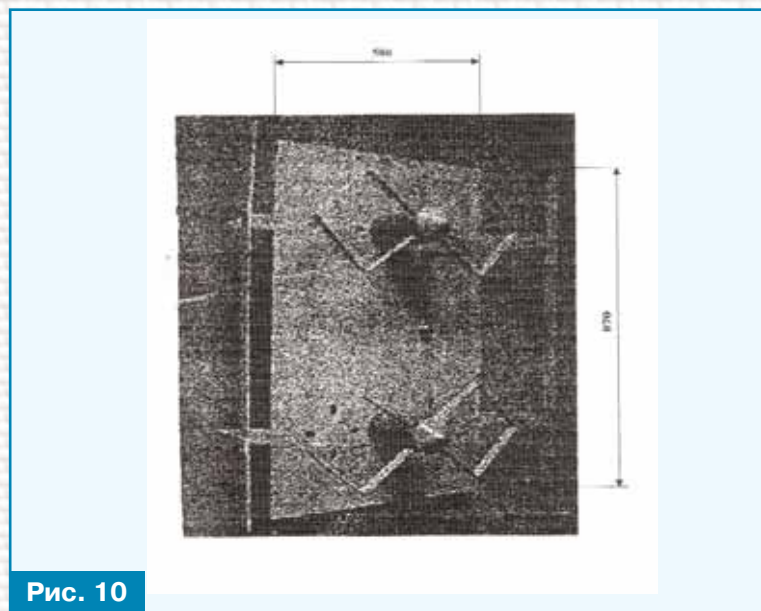


Рис. 10



Рис. 10а



Рис. 10б

Подмосковье трассовые испытания методом замещения, где в качестве эталонной антенны выступала автомобильная штыревая антенна фирмы "Nagoja", имеющая высоту 450 мм, диаметр подставки-основания 130 мм и тот же рабочий диапазон частот.

Испытания проведены в реальных условиях эксплуатации, на дальностях с пропаданием связи. Они показали, что по информативному критерию (способности соответствовать функциональному назначению) антенна "Шайба 2-К.Х." эквивалентна упомянутому эталону. Они также выявили ее полезную способность слабо реагировать на помехи типа "искра от двигателя", "искра от линий электропередач", "искра от троллейбусов, трамваев" (гораздо слабее, чем реагируют на такого вида помехи традиционные штыревые антенны).

Антенна имеет два варианта исполнения - врезной и на магнитной присоске. Ее целесообразно устанавливать в центре крыши автомобиля. Фидер к радиоаппаратуре (если антенна на магнитной присоске) прокладывают кратчайшим путем, используя форточки или стекла кузова. Снимать и ставить антенну рекомендуется аккуратно, ухватив ее пальцами за пластиковый обтекатель. Антенна герметизирована, имеет грозозащиту.

"нечто" представляет собой стержень длиной порою до 500 мм, выход из строя которого возможен по причине, например, облома (при выезде из гаража, въезде, мойке и т.п.).

Фирма KATHREIN своей fahrzeugantenne 406...470МГц указала на нетрадиционный подход к созданию автомобильной антенны, сделав ее в виде отрезка цилиндра диаметром 137 мм и высотой всего в 70 мм при КУ = 0 дБ.

Автор статьи, избегая традиций, разработал автомобильную антенну, назвав ее "Шайба 2-К.Х." за внешний вид по форме, напоминающей хоккейную шайбу. Полотно антенны излучает радиоволны с линейной (вертикальной) поляризацией. Антенна имеет круговую ДН в горизонтальной плоскости при соответствующем расположении на крыше автомобиля. Внешний вид антенны с размерами под рабочий диапазон частот $\Delta f = 415 \div 430$ МГц, расположенный на крыше автомобиля, показан на рис. 11. Антенна уникальна своими вертикальными размерами ($h = 39$ мм) и пока не имеет аналогов.

Антенна "Шайба 2-К.Х." (рис. 11а), выполненная под задание на диапазон частот 430÷450 МГц, прошла в

Благодаря конструктивным особенностям, она имеет небольшую "парусность", а значит, испытывает незначительные ветровые нагрузки; имеет малую высоту, а значит, не мешает въезду (выезду) в гараж, помещения и т.п., не препятствует даже автомойке (при врезном варианте).

Перечисленные достоинства объективно позволяют выделить "Шайбу 2-К.Х." на фоне антенн штыревого типа аналогичного назначения без исключения. Установленная в центре крыши автомобиля "Шайба 2-К.Х." имеет КНД ≈ 5 дБ.

Приступая к построению антенн базовых, следует знать, что секторные (панельные) антенны, которые входят антеннами-элементами в состав базовой антенны - это, как правило, сложные и дорогие устройства. В настоящее время они достигли высокого уровня совершенства и могут быть поставлены различными отечественными и зарубежными фирмами с примерно одинаковыми электрическими и массогабаритными характеристиками.

Для наглядной и объективной оценки качества секторных антенн надо иметь некий тест-график, позволяющий определять качество выполнения системы питания реальной синфазной антенной решетки по фактическому углу $\theta_{0,5}$ (при заданном числе m вибраторов) в сопоставлении с тем углом $\theta_{0,5 \text{ опт.}}$, который достигим теоретически, при том же числе m вибраторов в решетке и при их действительно синфазном возбуждении.

Воспользуемся еще раз рис. 3, рекомендациями [1] и [2] и выпишем соотношение, которое определяет ДН синфазной вертикальной решетки, составленной из m полуволновых вибраторов с полуволновыми промежутками между их центрами, установленных над плоским бесконечно большим экраном (ре-

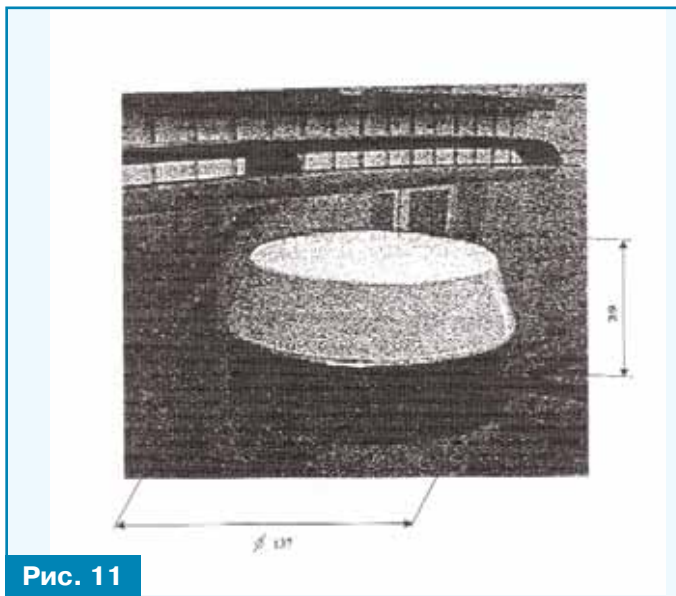


Рис. 11



Рис. 11а

флектором) на расстоянии в четверть длины волны от него. При этом будем иметь:

$$F(\theta) = \frac{\text{Sin}(m(\pi/2)\cos\theta)}{\text{Sin}((\pi/2)\cos\theta)} \times \frac{\cos((\pi/2)\cos\theta)}{\text{Sin}(\theta)} \times \text{Sin}((\pi/2)\cos\theta) \quad (15)$$

В выражении (15) первый множитель характеризует так называемый "множитель решетки". Второй множитель определяет ДН элемента решетки, в данном случае им является линейный полуволновый вибратор. Третий множитель описывает влияние рефлектора.

Направим усилия на получение зависимости:

$$\theta_{0,5opt} = f(v/\lambda) \quad (16)$$

где λ - среднегеометрическая длина волны рабочего диапазона.

Как правило, большинство фирм наряду с углом $\theta_{0,5}$ сообщает в рекламных проспектах размер v антенны.

Теоретическая зависимость (16) позволяет сопоставлять антенны различных фирм между собой и тем самым оценивать их качество. Следует сразу же оговорить, что выражение (15) физически реализуемо только для значений угла θ , заключенного в пределах $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ передней полусферы. Поэтому оценить уровни заднего излучения с помощью (15) не представляется возможным. Эти уровни определяются экспериментально и с большим трудом, т.к. для их достоверного отсчета требуются большие свободные пространства (или дорогие эхо-камеры). Поэтому фирмы в рекламных проспектах указывают (но не отчетливо), уровни бокового и заднего излучений. Справедливости ради отметить, что для подавляющего большин-

ства случаев практического применения антенн, уровни их бокового излучения вполне удовлетворительны. Исключение составляют лишь панельные (секторные) антенны, из которых формируется базовая антенна, по причинам, уже изложенным выше.

Кривая, приведенная на рис. 12 пунктиром, получена следующим образом. Вначале, используя выражение (15) и задавая последовательно ряд значений m , строят графически ДН как функции $F(\theta) = f(m)$. Затем по этим графикам (по ДН) определяют значения углов $\theta_{0,5opt}$. Затем составляют таблицу соответствия значений $\theta_{0,5opt}$ значениям m , которая в итоге позволяет получить график искомой функции $\theta_{0,5opt} = f(v/\lambda)$.

Зависимость (16) не встречается в литературе в явном виде графика, т.к., по-видимому, трудоемкие операции ее получения не способствуют этому.

Функция (16), показанная на рис. 12, служит удобным и наглядным тест-графиком, который позволяет производить оценки качества выполнения коллинеарных и панельных (секторных) антенн именно по критерию их принципа действия.

Воспользуемся тест-графиком рис.12 для оценки качества построения линейных синфазных решеток, какими, в сущности, и являются коллинеарные и панельные (секторные) антенны. На рис. 12 соответствующими значками помечены значения углов $\theta_{0,5}$ для коллинеарных антенн фирм **Krenn** и **Procom**. Как видно, они заметно не совпадают с теоретической кривой, отклоняясь от нее на 18-20% от номинала (смотри стрелки, направленные к оси ор-

динат). Этот факт свидетельствует о том, что в угоду конструктивной (масогабаритной) составляющей пожертвована электрическая составляющая характеристики коллинеарной антенны: (допущена и расфазировка вибраторов в полотне антенны, и раздозировка мощности источника колебаний по вибраторам в том же полотне, как результат последовательного возбуждения вибраторов, составляющих решетку, когда первый из них, находящийся ближе всех к точкам ее питания, и последний из них, наиболее удаленный от точек питания, имеют между собой и разность фаз возбуждения и неравные амплитуды токов).

Сказанное выше, однако, не меняет, по большому счету, мнения о коллинеарных антеннах как о лучших в качестве базовых. Вновь обратимся к рис. 12 и рассмотрим секторные антенны фирм "Московские микроволны", Kathrein, "Антенна XXI" (последняя производит антенну "Гирлянда"), "Радиал", которая производит панельные антенны RAO-4У-60, RAO-4У-90, RAO-4У-120, все с углом $\theta_{0,5} = 18^\circ$.

Фирма Kathrein представлена четырьмя типоразмерами секторных (панельных) антенн, помеченных на рис. 12 значком **o**.

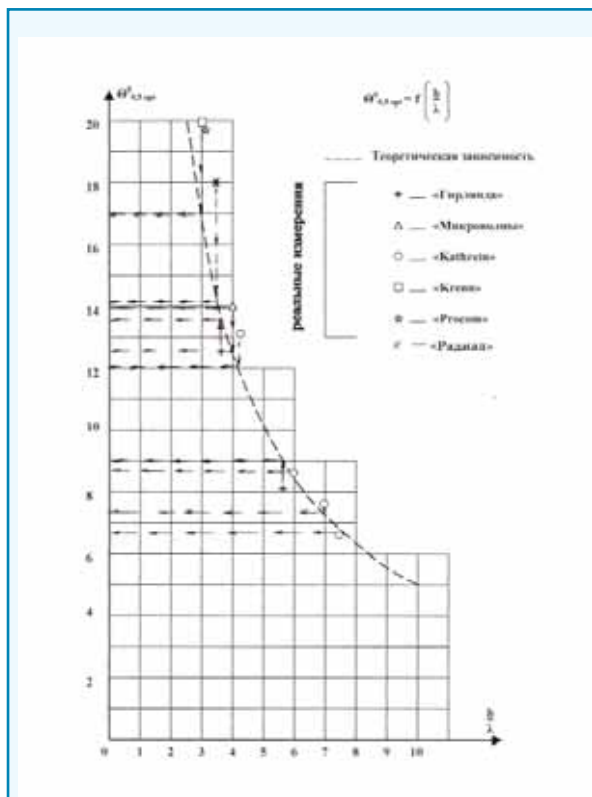


Рис. 12

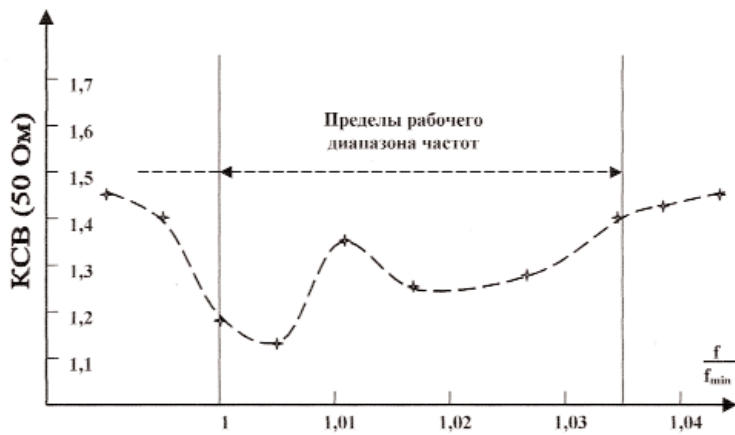


Рис. 14

Ее антенны заслуживают похвалы, т.к. значки **o** практически все совпадают с теоретической зависимостью $\theta_{0,5opt} = f(v/\lambda)$.

Антенна фирмы "Московские микроволны" (значок Δ) на 12% отклоняется от возможного номинала в сторону увеличения угла $\theta_{0,5}$.

Антенна "Гирлянда" представлена двумя типоразмерами (значок **+**). Благодаря особому способу построения ее излучающего полотна, ей присущ небольшой (в пределах 10%) эффект "сверхнаправленности": ее угол $\theta_{0,5}$ на 10% меньше номинала. Антенны фирмы "Радиал", (значок **x**) на 25% превышают номинал.

Данный пример показывает, как плотно подошли многие фирмы-производители панельных антенн к тому пределу, за который не перешагнешь. Поэтому для выбора панельных антенн следует привлекать и учитывать аргументы, следующие по важности за функциональным как основным: их стоимость, удобство и надежность работы с партнером, доверие к нему и т.д.

Тест-график (рис. 12) объективно рекомендует выбрать в качестве антенны-элемента для базовой антенны панельную антенну под шифром "Гирлянда". Она выполняется в двух модификациях: с углом $\varphi_{0,5} = 120^\circ$ и с углом $\varphi_{0,5} = 90^\circ$.

При этом угол $\theta_{0,5}$ у обеих модификаций целесообразно оставить одним и тем же и подобрать его возможно меньшим, сообразуясь с концептуальными основами **I** (п. 6, резюме 2.) в компромиссной борьбе с габаритами антенн, главным образом с ее длиной.

Панельная антенна "Гирлянда" представляет собой цепочку линей-

ных полуволновых вибраторов, ориентированных вертикально, которые установлены перед плоским экраном (рефлектором).

Число m вибраторов в цепочке определяет угол $\theta_{0,5}$ и, естественно, длину антенны. Форма и поперечные размеры экрана определяют угол $\varphi_{0,5}$, уровень поля побочного излучения антенны и ее ширину.

Крепление антенны обеспечивает ей надежное сочленение на объекте установки и позволяет изменять угол наклона по отношению к горизонту (или к вертикали).

Антенна "Гирлянда" производится с числом элементов (вибраторов) $m = 8$ и $m = 12$.

Для среднегеометрической частоты, отведенной для работы диапазона, например,

$$f_{\text{ср.геом}} = \sqrt{f_{\text{min}} f_{\text{max}}} \approx 420 \text{ МГц} \quad (17)$$

Рабочая длина волны $\lambda_{\text{ср.геом}} \approx 715 \text{ мм}$.

При этом размер $v = m(\lambda/2)\xi$, излучающего полотна антенны "Гирлянда" для $m = 8$ составит $v_8 = 2640 \text{ мм}$, а для $m = 12$ соответственно - $v_{12} = 3960 \text{ мм}$, где $\xi = 0,46$ - некоторый технологический коэффициент, обусловленный схемой питания вибраторов.

Размер v_{12} представляется большим, работать с которым при транспортировке и монтажу антенны-элемента базовой антенны будет затруднительно.

Размер v_8 в этом аспекте более приемлем, а с учетом п. 6 резюме 2, еще и целесообразен.

Схематично антенна типа "Гирлянда" (с числом вибраторов $m = 8$)

показана на рис. 13. На рис. 13а для модификации с углом $\varphi_{0,5} = 90^\circ$, а на рис. 13в - с углом $\varphi_{0,5} = 120^\circ$. Она похожа на вытянутый цилиндр, разрезанный пополам вдоль оси. Такой вид ей придает пластиковый обтекатель, который защищает все токонесущие узлы и элементы антенны от силовых воздействий ветровых нагрузок, от пыли, от грязи, от метеосаждков и т.д. и т.п.

Эксперимент показал, что антенна "Гирлянда" хорошо согласуется с 50-омным питающим фидером в диапазоне частот от $f_{\text{min}} = 415 \text{ МГц}$ до $f_{\text{max}} = 430 \text{ МГц}$, о чем свидетельствует график (рис. 14).

Особое внимание было отведено снятию **ДН** антенны "Гирлянда".

Как уже отмечалось, не представляется возможным сделать количественную оценку уровням побочного излучения секторных антенн по тем публикациям, которые представляют фирмы-изготовители. В то время как именно это излучение и определяет кондиции панельных антенн как антенн-элементов базовой антенны.

В этом аспекте **ДН**, показанные на рис. 15, 16, 17 представляют определенную ценность. Так, например, в **Е**-плоскости поляризации уровень побочного излучения вне секторов углов θ° с главным и первыми боковыми лепестками быстро снижается за уровень -20 дБ (за 0 дБ взят уровень в максимуме главного лепестка **ДН**) и находится за пределами -30 дБ.

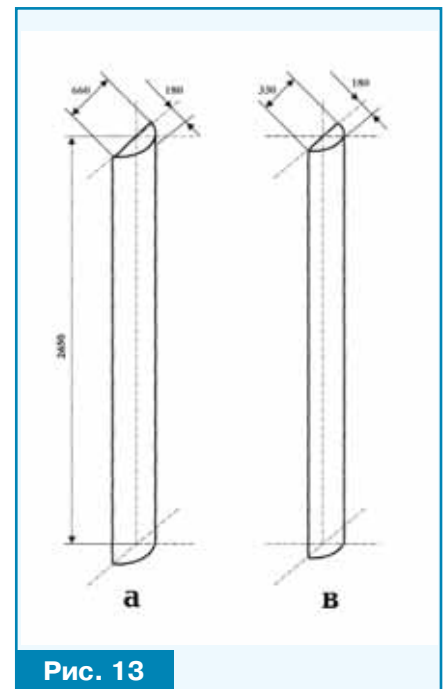


Рис. 13

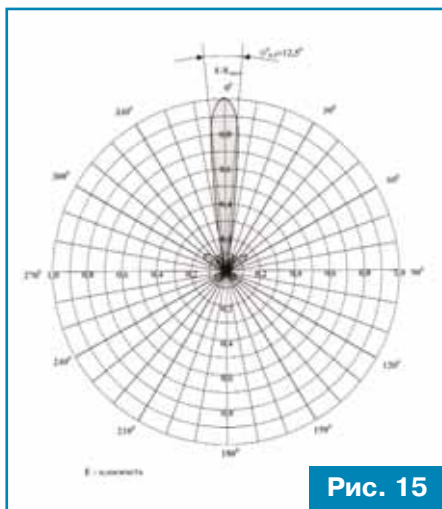


Рис. 15

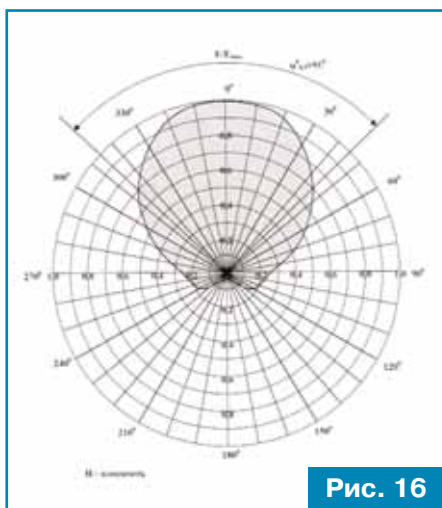


Рис. 16

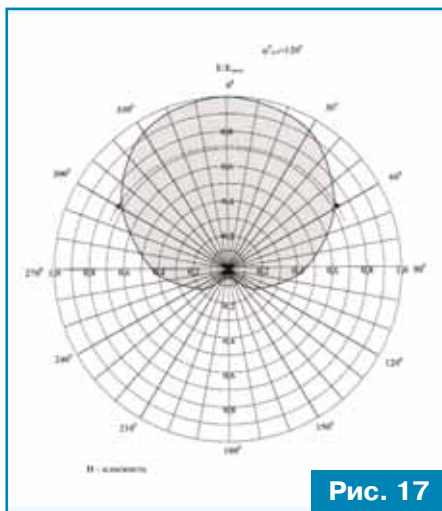


Рис. 17

-30 дБ - это тот уровень (в данном эксперименте), отсчет которого можно гарантировать инструментально. Он зависит и определяется свойствами свободного прост-

ранства, в котором производится измерения (это его фон).

В **H**-плоскости поляризации уровень побочного излучения -30 дБ наблюдается в секторе углов $180^\circ - 25^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ + 25^\circ$ и также зависит от уровня фона свободного пространства, но уже с вектором **E**, повернутым на 90° по отношению к предыдущему случаю.

В описываемых экспериментах задействованы макеты антенн типа "Гирлянда" с числом элементов $m = 8$ и экранами, которые обеспечивали им углы $\varphi_{0,5} \approx 90^\circ$ и $\varphi_{0,5} \approx 120^\circ$. Угол $\theta_{0,5}$ при этом был одинаков для обеих модификаций антенн и равен $\theta_{0,5} \approx 12,5^\circ$. Базовая антенна (будучи выполненной на основе описанных выше секторных антенн, взятых в количестве четырех штук, если $\varphi_{0,5} \approx 90^\circ$, и взятых в количестве трех штук, если $\varphi_{0,5} \approx 120^\circ$) имела бы круговую **ДН** и **КУ**, примерно равный $G \approx 9$ дБi.

Заметим, что для получения **КУ** упомянутых коллинеарных антенн, равного $G \approx 9$ дБi, их длину следовало бы увеличить (в лучшем случае) до 3500 мм (более чем на $1/3$), для того, чтобы сравняться по **КУ** с базовой антенной, построенной с применением антенны "Гирлянда".

ИТОГИ

Объективно оказывается, что слабым местом в рассматриваемой системе связи являются вопросы взаимодействия звена базовых радиостанций со звеном мобильных радиостанций. Это обусловлено относительно низкими значениями **КУ** антенн мобильных радиостанций по сравнению с остальными. Данный недостаток энергетического плана, вероятность проявления которого возможна, приводит к необходимости предусмотреть меры, способные его компенсировать.

В частности, представляется целесообразным выявить в системе связи те участки (точки) ее территории, где возможно снижение уровней сигналов между корреспондентами до недопустимого уровня, а также выявить причины этих проявлений. Последнее важно тем, что меры по преодолению этих причин могут быть как дополнительными техническими, так и дополнительными организацион-

ными. В числе дополнительных технических мер возможна, например, установка активных или пассивных ретрансляторов, а в числе организационных мер может быть выбор маршрутов с обязательным обходом "ненадежных" участков территории в условиях, когда такой "обход" должен являться обязательным.

Означенные меры направлены на исключение даже намека на возможность сбоя в передаче информации между корреспондентами.

Проведенный анализ реально существующей техники АФУ показывает следующее: среди известных автору панельных антенн лучший показатель по тест-графику (рис.12) принадлежит антенне "Гирлянда". Среди известных автору вибраторных антенн с плоским экраном лучший показатель по КИП (коэффициенту использования поверхности) для антенн с коэффициентом усиления $10 < \text{КУ} < 13$ дБi при минимальном числе точек питания принадлежит зигзагообразной антенне [3].

Рынок автомобильных антенн наводнен их разновидностями штыревого типа. Среди всех прочих альтернативно выделяются два новых типа автомобильных антенн. Это *fahrzeugantenne 406...470* МГц фирмы KATHREIN и антенна "Шайба 2-К.Х." от НПФ "Антенна XXI".

По массогабаритным характеристикам и **КУ** антенне "Шайба 2-К.Х." пока нет конкурентов.

Литература.

1. Пистолькорс А.А. Антенны. Связьиздат. 1947.
2. С. Щелкунов, Г.Фриис. Антенны. Сов. Радио. 1955.
3. Харченко К.П. Авторское Свидетельство СССР № 138277, 1960.
4. Харченко К.П., Нарышкин Е.М. Волновая служба и антенные устройства. Часть 2. Антенные устройства. Воениздат. М. 1982.

