

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"

1. По системе в целом

Система транкинговой связи, как правило, включает в себя три основных звена, между которыми организуется передача сигналов и сообщений с помощью радиоволн. Этими звеньями являются базовые и абонентские радиостанции. В свою очередь, абонентские радиостанции подразделяются на стационарные и мобильные.

Функциональные задачи, которые возложены на перечисленные звенья общей системы связи, существенно отличаются друг от друга. В связи с этим и антенно-фидерные устройства (АФУ), применяемые в технике связи каждого из звеньев, тоже будут существенно отличаться друг от друга.

Основные (общие) замыслы по оптимальному построению антенно-фидерных устройств для базовых радиостанций, стационарных абонентских радиостанций и радиостанций, расположенных на подвижных объектах (мобильных радиостанций), естественно, зависят и определяются требованиями и замыслами по созданию системы транкинговой связи в целом и не должны им противоречить. Последнюю следует оценивать как систему повышенной важности с вытекающими отсюда требованиями по ее живучести, надежности, устойчивости и бесперебойности передачи сигналов и сообщений.

Принимая эту установку взглядов на систему в целом, следует считать приоритетными те параметры АФУ, которые определяют их функциональные качества и свойства, а

массогабаритные и стоимостные характеристики ставить им в подчинение. В общем балансе создаваемого энергетического потенциала на трассе между корреспондентами имеют место, как принято говорить, "горячие" децибелы передатчика и "холодные" децибелы антенны. Как показывает всеобщая практика, "холодные" децибелы дешевле, и много. Поэтому экономить на антеннах невыгодно. Они всегда окупаются.

Такой подход к оценке АФУ диктует их отбор по принципу действия, что в итоге обуславливает их электрические характеристики и их стабильность в процессе эксплуатации в различные времена года, в различные погодные условия и даже в различной помеховой обстановке (в условиях непреднамеренных воздействий на качество связи посторонних сигналов и помех).

Отбор антенн по принципу действия позволяет, в известной степени, "закрыть глаза" на фирму, которая их производит, и сосредоточить внимание лишь на кондициях самого изделия. Последнее избавляет от возможного "субъективизма" в проводимых оценках АФУ, если их делать с оглядкой на авторитет фирмы.

Мобильные радиостанции, которые в процессе работы двигаются (перемещаются) и тем самым меняют свою ориентацию в пространстве, требуют для своих антенн наличия круговой диаграммы направленности (ДН) в горизонтальной плоскости. Это требование в настоящее время мировая и отечественная практика удовлетворяет выбором антенн штыревого типа. Таким обра-

зом, наличие в общей системе связи звена мобильных радиостанций однозначно обуславливает выбор для всех АФУ, входящих в систему транкинговой связи, антенн с линейной поляризацией, ориентированных вертикально по отношению к горизонту.

Отведенный участок рабочего диапазона частот для рассматриваемой системы связи, как правило, исключает возможность ее работы в зонах дифракции радиоволн (в зонах геометрической тени) и тем самым требует наличия прямой видимости между антеннами всех звеньев системы.

Резюме 1

1. Система транкинговой связи - система повышенной важности.
2. Приоритетные параметры АФУ - те, которые обуславливают их функциональные свойства.
3. Выбор АФУ следует производить по их принципу действия.
4. Все АФУ должны иметь линейную вертикальную поляризацию.
5. Между АФУ всех звеньев системы связи должна быть прямая видимость.

2. По антеннам базовых радиостанций

Обратимся к схеме, рис. 1. На ней изображен фрагмент сети базовых радиостанций в количестве N штук, размещенных на поверхности, имеющей площадь S . Условная дальность действия каждой базовой ра-

диостанции равна R . Допустим, что в пределах этой дальности R гарантируются требуемые характеристики связи базовой радиостанции с абонентскими радиостанциями. При прочих равных условиях дальность R определяется еще и коэффициентом усиления ($KУ$) базовой антенны, который обозначим литерой G .

В условиях прямой видимости между антеннами корреспондентов дальность связи R пропорциональна \sqrt{G} , т.е.,

$$R \sim \sqrt{G} \quad (1)$$

Условия функционирования сети связи по рис. 1 налагают определенное требование на $ДН$ базовой антенны. Она должна быть круговой в H -плоскости поляризации антенны. Этому требованию удовлетворяют так называемые коллинеарные антенны. Они представляют собой цепочку линейных излучателей, расположенных вертикально на одной прямой и размещенных на вершине ствола мачты-опоры (размещенных в полном уединении). Обеспечить на практике такие условия в большинстве случаев затруднительно. Поэтому отметим (в принципе) возможность использования коллинеарной антенны в качестве базовой и добавим к этому, что они наиболее приемлемы в этом качестве еще и по массогабаритным и стоимостным характеристикам.

Существенно более вероятные случаи размещения базовой антен-

ны те, когда ей отводят некоторое сечение ствола мачты-опоры, а не его вершину. В этом случае размещение сделать базовую антенну с круговой $ДН$ в горизонтальной плоскости значительно труднее. Здесь ее выполняют из нескольких однотипных антенн, расставленных вокруг оси ствола мачты-опоры и питаемых одним общим фидером. Известны случаи соблазна применить и в этих условиях размещения несколько коллинеарных антенн. Покажем, хотя это и тривиально, что так делать нельзя. С этой целью воспользуемся рис. 2, который взят из работы [1, стр. 143]. На нем показана $ДН$ в H -плоскости поляризации синфазной решетки, состоящей из двух коллинеарных антенн, каждая из которых имеет круговую $ДН$. Как видно из рис. 2, результирующая $ДН$ такой решетки непригодна для базовой антенны, т.к. в $ДН$ имеются глубокие провалы, следствием которых является отсутствие (нарушение) связи в соответствующих секторах углов горизонтальной плоскости. Увеличение числа

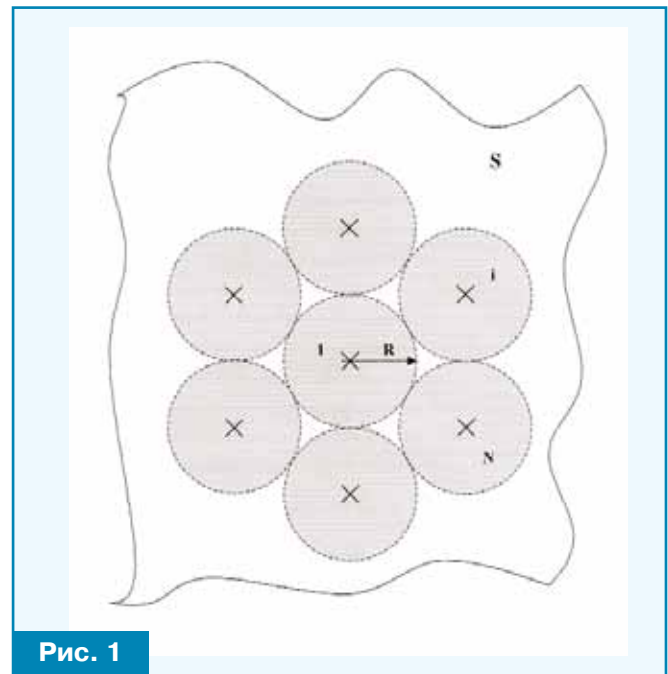


Рис. 1

сти выбора в качестве элемента решетки базовой антенны такой антенны, у которой уже есть четко выраженная $ДН$ в H -плоскости поляризации в некотором секторе углов $\Delta\varphi$, а также, кроме этого, сильно ослаблены уровни бокового и заднего излучения в секторе углов $(360^\circ - \Delta\varphi)^\circ$.

Число A таких антенн-элементов в решетке базовой антенны определяется простым соотношением

$$A = 360^\circ / \Delta\varphi^\circ \quad (2)$$

Транкинговые и сотовые системы связи, действующие в настоящее время, применяют базовые антенны с числом A элементов в них, равном 6; 4; 3. Соответственно, при этом секторе углов $\Delta\varphi$ равны 60° ; 90° ; 120° .

Сектор углов $\Delta\varphi$ в теории антенн имеет термин "угол раскрытия $ДН$ по половинной мощности". Для H -плоскости поляризации он обозначается через угол $\varphi_{0,5}$; для E -плоскости поляризации - через угол $\theta_{0,5}$.

Антенна-элемент для базовой антенны-решетки получила устоявшееся название - "секторная антенна" (иногда "панельная антенна").

Установим (для общего случая), какими параметрами обуславливается и характеризуется антенна-элемент. Для этого воспользуемся соотношениями авторитетного источника [2] и рис. 3. На рис. 3 показана синфазная решетка, составленная из полуволновых линейных излучателей с полуволновыми промежутками

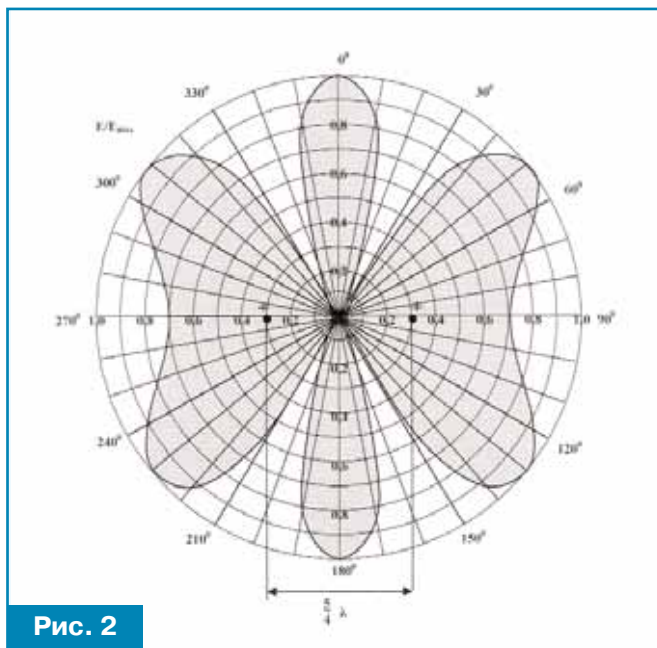


Рис. 2

коллинеарных антенн в решетке сверх двух, в принципе, сути дела не изменит. Этот наглядный пример показывает, что создание круговой $ДН$ у базовой антенны путем размещения ее элементов вокруг ствола мачты-опоры является задачей технически достаточно сложной, но решаемой.

Поиски этого решения приводят к необходимо-

между их центрами. При этом каждый излучатель питается от общего источника колебаний так, что все они получают от него равные доли энергии. Все излучатели расположены в одной плоскости перед плоским токопроводящим экраном, плоскость которого параллельна плоскости расположения излучателей и удалена от нее на четверть длины волны (на $\lambda/4$), где λ - длина волны источника колебаний.

Ширина решетки равна $a = n \cdot (\lambda/2)$, что следует из геометрии ее построения. Высота решетки равна $b = m \cdot (\lambda/2)$. Геометрическая площадь поверхности, которую занимают вибраторы, равна:

$$S_{\text{геом}} = a \times b = m \cdot n \cdot (\lambda/2)^2 \quad (3)$$

Источник [2] справедливо утверждает, что при $a = b > \lambda$, эффективная поверхность такой решетки почти равна ее геометрической поверхности, т.е.

$$S_{\text{эф}} \approx S_{\text{геом}} = m \cdot n \cdot (\lambda/2)^2 = a \times b \quad (4)$$

Для плоского излучающего раскрыва (апертуры) с синфазным возбуждением и равномерным распределением амплитуд поля по раскрыву справедливо соотношение:

$$G = 4\pi S_{\text{эф}} / \lambda^2 \quad (5)$$

Нетрудно показать, что для такой решетки угол $\varphi_{0,5} \sim a$; а угол $\theta_{0,5} \sim b$. Тем самым, требуемые углы раскрыва по половинной мощности в Н-плоскости поляризации, равные 120° ; 90° ; 60° , можно получить, задавая нужное число n излучателей в антенне-элементе. Чем меньше должен быть угол $\Delta_{0,5}$, тем больше должно быть число n излучателей.

Допустим, что выбран угол $\varphi_{0,5} = 60^\circ$. Это означает, что для построения базовой антенны следует взять, согласно (2), шесть панельных антенн, расставить их вокруг ствола мачты-опоры и возбудить так, чтобы все они получали равные доли энергии от источника колебаний. При этом в идеальном случае у базовой антенны будет сформирована круговая ДН. Если базовую антенну, полученную таким сложным, громоздким и дорогим способом, сравнить с коллинеарной антенной, то станет ясно, какую цену приходится платить за отсутствие возможности ставить базовую

антенну на вершину ствола мачты-опоры. Кроме того, становится также ясно, что надо стремиться к увеличению угла $\varphi_{0,5}$ с тем, чтобы уменьшить число A антенн-элементов в составе базовой антенны, преодолеть, конечно, технические проблемы подавления уровней их побочного излучения, о чем уже говорилось выше.

В пределе следует считать число $A = 3$ хорошим результатом, к которому надо стремиться.

Подчеркнем немаловажный факт, что число A антенн-элементов, входящих в базовую антенну, влияет на ее стоимость (что очевидно), и не влияет на ее КУ. Отсюда вытекает важный практический вывод, что следует стремиться к такому построению антенны-элемента, при котором число n излучателей в ней было бы минимальным (при удовлетворительном подавлении уровней побочного излучения).

Рассмотрим влияние числа m излучателей в антенне-элементе на характеристику базовой антенны. Для этого проведем логическую цепочку рассуждений. Выпишем заново и преобразуем соотношения (1), (4) и (5).

$$R \sim \sqrt{G} \quad (1)$$

$$a \times b = m \cdot n \cdot (\lambda/2)^2 \approx S_{\text{эф}} \quad (4)$$

с учетом (5)

$$G = 4\pi S_{\text{эф}} / \lambda^2 \sim v \quad (6)$$

с учетом (4)

$$G \sim m \quad (7)$$

Согласно рис. 1,

$$S \approx \pi R^2 \cdot N \quad (8)$$

$$N = S / \pi R^2 \quad (9)$$

$$R \sim \sqrt{m} \quad (10)$$

И, наконец,

$$N \sim 1/m \quad (11)$$

Оказывается, что число N базовых станций, необходимые для создания транкинговой сети связи на территории с площадью S , обратно пропорционально числу m полуволновых излу-

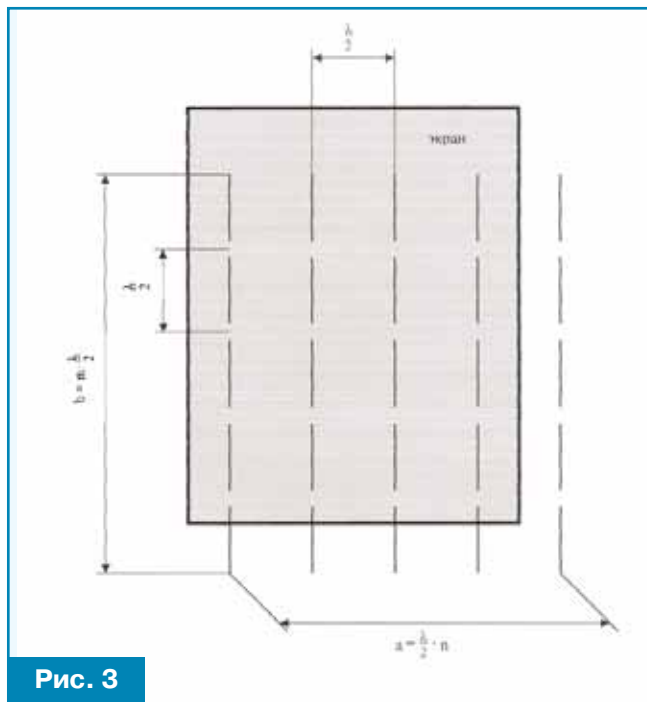


Рис. 3

чателей, входящих в антенну-элемент базовой антенны. (Этот результат можно было "предчувствовать" на уровне технической интуиции, но, полученный на уровне формальной логики, он выглядит убедительней и рельефней). Следствия, вытекающие из соотношения (11), заслуживают внимания. Так, априори можно утверждать, что стоимость сооружения, на котором монтируется базовая антенна, плюс стоимость радиотехнического оборудования базовой станции, плюс стоимость фидеров и сопутствующих конструктивных узлов и элементов в совокупности намного порядков превосходят стоимость самой базовой антенны. Отсюда следует непоколебимый вывод: из антенны-элемента надо "выжимать" тот технически возможный максимум, который "сегодня" достигим по увеличению числа m излучателей (как электрического параметра синфазной антенной решетки) в компромиссной борьбе с ее массогабаритными параметрами, которые обуславливают транспортировку и монтаж базовой антенны.

Резюме 2

1. Радиус R уверенного действия базовой радиостанции практически пропорционален \sqrt{G} , где G - коэффициент усиления базовой антенны.
2. ДН базовой антенны должна быть круговой в Н-плоскости поляризации.

3. В большинстве случаев практикой местом установки базовой антенны является сечение ствoла мачты-опоры, промежуточное между его основанием и вершиной.
4. В этом случае установки базовая антенна должна строиться по принципам антенной решетки, состоящей из A антенн-элементов, входящих в нее.
5. Из экономических предпосылок желательно иметь минимальное число n излучателей, входящих в горизонтальный ряд антенны-элемента, с обязательным условием удовлетворительного подавления уровней ее побочного и заднего излучения.
6. Из экономических предпосылок желательно иметь максимальное число m излучателей, входящих в вертикальный ряд антенны-элемента.

3. По антеннам абонентским стационарным

Антенны абонентские стационарные участвуют в создании энергетического потенциала на трассе наравне с базовыми антеннами и тем влияя на дальность действия R по рис. 1. В этом аспекте их KU желательно иметь побольше.

Особенности функционального использования стационарных абонентских антенн не предъявляют к их $ДН$ каких-либо специальных требований. Последнее существенно облегчает получение относительно высоких значений KU без применения особых конструктивных ухищрений. Такие антенны могут быть выполнены с умеренными размерами и по ширине, и по высоте.

Для абонентской стационарной антенны следует уделить большее внимание удобству ее крепления и возможности юстировки (ориентации в пространстве) на стене здания, сооружения и т.п. объектах, в котором может быть расположен абонент, а также дизайну антенны, т.к. она становится предметом индивидуального пользования.

В условиях городской застройки путь радиоволн от базовой антенны до антенны абонента практически непредсказуем. Поэтому, казалось бы простая и естественная ориентация

антенны абонента по азимуту базовой антенны может себя не оправдать. Здесь следует поискать то направление, в котором уровень сигнала от базовой антенны окажется максимальным. Искать такое направление надо осмысленно, ориентируясь на окрестные строения, здания, башни, "волноводные" проходы между зданиями, арки и т.п., способные перенаправить радиоволны в сторону места установки абонентской антенны.

Представляем возможным и достаточным иметь KU стационарной абонентской антенны в пределах $8 \leq G \leq 13дБ$.

4. По антеннам абонентским мобильным

Функциональные условия размещения мобильных абонентских антенн на подвижных объектах накладывают на их конструкцию и $ДН$ специфические требования.

$ДН$ абонентской мобильной антенны в H -плоскости поляризации должна быть круговой. Размещение антенны на крыше кабины или кузова автомашины или иного транспортного средства ограничивает (и существенно) ее размеры по высоте. В совокупности оба условия ограничивают возможности обеспечения высокого значения KU антенны.

По сути дела, абонентская мобильная радиостанция является слабым звеном в системе транкинговой связи, которое и задает, и определяет условия и требования к параметрам и характеристикам базовой радиостанции и базовой антенны как ее элемента. Представляется хорошим результатом иметь KU мобильной абонентской антенны, установленной на подвижном объекте, в пределах $4 \leq G \leq 6дБ$.

Требование к согласованию с питающим фидером антенн всех звеньев системы транкинговой связи, как правило, задано пределами изменения коэффициента стоячей волны ($KСВ$), которое определено как $1 \leq KСВ \leq 1,5$, и с которым следует согласиться.

Выбирая для системы транкинговой связи антенны абонентские стационарные, полезно знать, что они могут быть выполнены, как минимум, в двух принципиально различных вариантах. При этом оба варианта исполнения антенн по KU могут находиться в пределах $8 \leq G \leq 13дБ$ и по

этому критерию удовлетворять требованиям, изложенным в концептуальных установках.

К первому варианту отнесем существующие многообразие конструкций вибраторных антенн, объединенных общим принципом действия как антенн продольного излучения. (Классическим представителем которого является антенна "Уда-Яги" или "волновой канал").

Ко второму варианту отнесем конструкции тоже вибраторных антенн, которые объединены другим общим принципом действия, как поперечные синфазные антенные решетки.

Сказанное выше открывает широкий простор для их выбора из среды имеющихся по критериям менее прихотливым, чем для других звеньев системы связи.

Здесь на первый план выходят требования надежности, долговечности, прочности, дизайна и цены.

Имеет смысл оговорить понятие, вкладываемое в термин "цена". В бытовом понимании - это количество денег, заплаченное за изделие. "Цена" антенны для транкинговой системы связи - это цена того ущерба, какой она может нанести в случае выхода из строя (даже временного) по причине своей дешевизны.

Обратим внимание только на одну конструктивную особенность всех антенн продольного излучения - на длину их консоли, которая увеличивает вероятность нарушения целостности конструкции. (Увеличивает шансы их облома от ветра и обледенения). Вынос излучающего полотна поперечных синфазных решеток короче консоли антенн продольного излучения (как показывает статистика) в $6 \div 9,4$ раза при прочих равных условиях по диапазону частот и величине KU . По "генетическим" причинам, заложенным в их принципе действия, антенны типа "волновой канал", ко всему прочему, оказываются еще и "генетически" ненадежными. Эти антенны являются резонансными и по входному сопротивлению, и по $ДН$. И первый, и второй факторы влияют на KU "волнового канала", естественно, снижая его значение относительно возможного максимума в резонансе, когда появляются внешние причины, удаляющие элементы антенн от состояния настройки в резонанс. Такими внешними причинами являются дождь, снегопад, обледенение.

Окончание статьи см. в следующем номере