

АНТЕННЫ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Песков С.Н., директор МВКПК, к.т.н.
Апрель 2009г.

Качество приема сигналов наземного телевизионного вещания (НТВ) во многом зависит от качества используемых антенн. Приемные TV антенны преобразуют энергию электромагнитных волн в ВЧ-энергию, поступающую по кабелю снижения к антенному (мачтовому) усилителю, ГС или непосредственно к телевизионному приемнику (при индивидуальном приеме) или STB (при приеме сигналов цифрового вещания DVB-T).

По месту установки антенны делятся на:

- встроенные, устанавливаемые внутри телевизора;
- комнатные, предназначенные для установки внутри помещения;
- наружные, предназначенные для установки вне помещений. Именно этот вид антенн используется при построении СКТ.

В зависимости от диапазонных свойств, антенны подразделяются на каналные (предназначены для приема одного TV канала), многоканальные (для приема нескольких TV каналов в пределах одного диапазона), диапазонные (для работы в одном или нескольких диапазонах) и всеволновые (для приема любого канала в любом из используемых диапазонов). Очевидно, что наилучшими параметрами обладают каналные антенны. Наиболее экономичными являются диапазонные и всеволновые антенны.

Важно отметить, что антенна является взаимным устройством, т.е. способна принимать и излучать электромагнитную энергию, обладая при этом одинаковыми параметрами. Отметим основные параметры, характеризующие антенну.

Рабочий диапазон частот – это интервал частот, в пределах которого наблюдается изменение мощности принимаемых сигналов не более чем в два раза (3 дБ). В пределах рабочего диапазона частот должны выдерживаться все заявляемые параметры.

Диаграмма направленности (ДН) характеризует зависимость ЭДС, наведенной в антенне электромагнитным полем, от ориентации ее в пространстве. Обычно она строится в полярной (рис.1а) или в прямоугольной (рис.1б) системах координат. Лепесток, соответствующий максимальному сигналу или нулевому направлению, называется основным или главным, остальные называются боковыми или задними. Основным параметром ДН

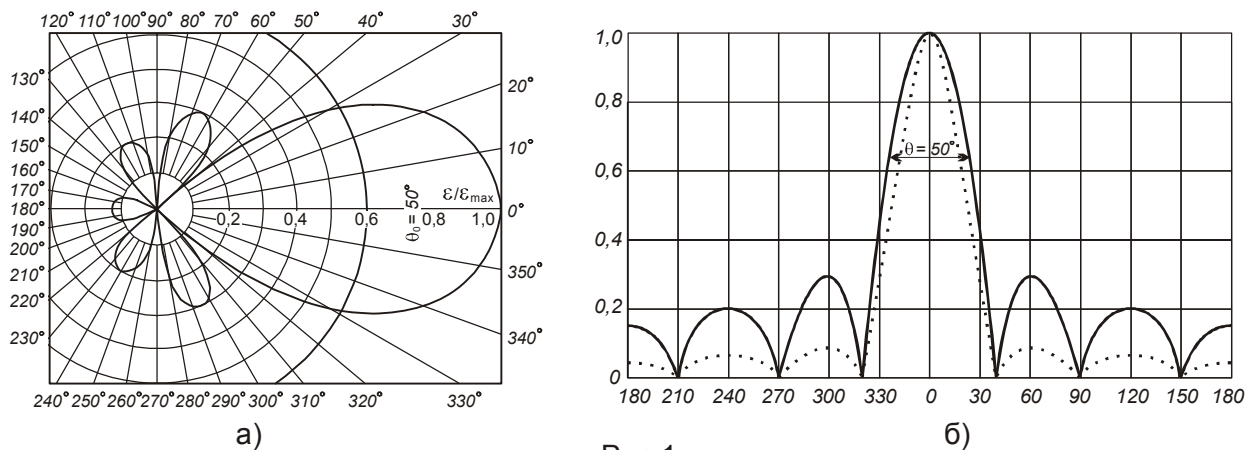


Рис.1

является угол раствора (ширина) главного лепестка в обеих плоскостях, в пределах которого ЭДС, наведенная в антенне электромагнитным полем, спадает до уровня 0,707 (или мощность уменьшается до уровня 0,5 относительно максимального значения). Чем меньше ДН, тем больше направленность.

Форма диаграммы направленности зависит от типа и конструкции антенны. Диаграмма направленности полуволнового вибратора в горизонтальной плоскости напоминает восьмерку, а в вертикальной – круг. Антенна «волновой канал» имеет ярко выраженный главный лепесток. С увеличением числа директоров в антенне, главный и побочные лепестки сужаются, при этом увеличиваются направленные свойства антенны.

Коэффициент направленного действия (КНД) характеризует направленные свойства антенны и представляет число, показывающее во сколько раз мощность сигнала, принятая антенной, больше мощности, которую примет эталонная антенна (полуволновой вибратор). КНД зависит от ширины диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Приближенная формула для расчета КНД имеет вид:

$$\text{КНД} \approx \frac{25154}{NV}, \quad (1)$$

где H и V – соответственно диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, град.
КНД связан с коэффициентом усиления по мощности G_A соотношением:

$$G_A = \text{КНД} \cdot \eta, \quad (2)$$

$$\text{или, в децибелах: } G_A \approx \text{КНД} - 0,2. \quad (2a)$$

где $\eta \approx 0,92 \dots 0,98$ – коэффициент полезного действия (или $-0,36 \dots -0,08$ в децибелах).

Коэффициент усиления антенны показывает, во сколько раз уровень наводимого в ней сигнала превышает уровень сигнала на эталонной антенне. В качестве эталонной антенны согласно стандарта EN 50083-11 рекомендован полуволновой вибратор. Коэффициент усиления антенны по напряжению (или по «полю») можно определить как отношение напряжения, развиваемого антенной на согласованной нагрузке, к напряжению, развиваемому на той же нагрузке согласованным с ней полуволновым вибратором. Обе антенны считаются расположенными в той же точке электромагнитного поля и ориентированными на максимум приема. Чаще используется понятие коэффициента усиления по напряжению.

Некоторые зарубежные производители, в целях завышения заявленных значений, указывают коэффициент усиления антенны по отношению к изотропному излучателю (полностью ненаправленная антенна, имеющая пространственную диаграмму направленности в виде сферы). Реально таких антенн нет, но она является удобным эталоном, с помощью которого можно сравнивать параметры существующих антенн. Коэффициент усиления полуволнового вибратора относительно изотропной антенны равен 2,15 dB (1,28 раза по напряжению или в 1,64 раза по мощности). Следовательно, если возникает необходимость пересчитать коэффициент усиления антенны по напряжению или по мощности относительно изотропной антенны, необходимо разделить известную величину на 1,28 или 1,64, и получим коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора. Если коэффициент усиления антенны G_A указан в децибелах относительно изотропной антенны (что бывает чаще на практике), то для пересчета необходимо вычесть 2,15 dB.

Дополнительно отметим, что с повышением рабочей частоты в диапазонных антеннах, их коэффициент усиления увеличивается.

Коэффициент защитного действия (КЗД) определяет помехозащищенность антенны. КЗД – это отношение напряжения, получаемого от антенны на согласованной нагрузке при приеме с заднего или бокового направления $U_{зад}$ к напряжению на той же нагрузке при приеме с главного лепестка $U_{эл}$, определяемое в децибелах по формуле:

$$\text{КЗД} = 20 \lg \left(\frac{U_{зад}}{U_{эл}} \right), \text{ dB}. \quad (3)$$

В условиях городского приема при наличии множества переотражений КЗД является основным параметром при выборе антенны. При приеме цифровых эфирных сигналов (DVB-T) этот параметр значительно менее важен. Тем не менее, наличие переотраженных сигналов повышает модуляционную ошибку (MER), в силу чего и при приеме цифровых сигналов следует выбирать антенну с максимально возможным коэффициентом защитного действия.

Входное сопротивление антенны – это параметр, который характеризует ее импедансные свойства в точке питания (место подключения фидера). Отдача мощности из антенны в нагрузку определяется отношением между входным сопротивлением антенны, которое может рассматриваться как ее внутреннее сопротивление, и сопротивлением нагрузки. В общем случае входное сопротивление антенны является комплексной величиной ($Z_{вх}$), состоящей из активной ($R_{вх}$) и реактивной ($X_{вх}$ – емкостной или индуктивной) составляющих. Чисто активным сопротивлением становится только при определенных соотношениях между размерами антенн и частотой (точки резонанса).

Невыполнение условий согласования приводит к появлению многократных отражений сигналов в фидере, проявляющихся в виде повторных, сдвинутых по горизонтали изображений на экране телевизора и снижает передачу мощности принимаемых сигналов из антенны в фидер. Использование мачтового усилителя, установленного в непосредственной близости от антенны, исключает появление повторов (усилитель является отличным вентиляльным устройством), но приводит к некоторому увеличению его коэффициента шума F на величину:

$$\Delta F_{[dB]} = 10 \lg \left[\frac{1}{1 - |\Gamma|^2} \right], \quad (4)$$

где $|\Gamma|$ – модуль приведенного коэффициента отражения между входным импедансом антенны и входным импедансом мачтового усилителя.

Рассмотрим, для примера, как меняется входное сопротивление симметричного линейного вибратора при изменении его длины. Очень короткий вибратор, длина которого значительно меньше длины волны, имеет входное сопро-

тивление, состоящее из активной составляющей и реактивной составляющей емкостного характера. Значение активной составляющей мало и измеряется долями или единицами Ом, реактивной составляющей – очень велико (единицы или десятки кОм). По мере увеличения длины вибратора активная составляющая возрастает, а реактивная снижается. По длине, равной $\lambda/4$, активная составляющая имеет значение около 15...20 Ом, реактивная – около 400...500 Ом. Когда длина вибратора близка к $\lambda/2$, активная составляющая становится равной 73 Ом, а емкостная обращается в ноль. Наступает первый (полуволновой) резонанс. При длине вибратора между $\lambda/2$ и λ входное сопротивление снова становится комплексным (индуктивного характера), а при длине, равной λ наступает второй (волновой) резонанс. В дальнейшем резонансы повторяются через каждые $\lambda/2$, причем входное сопротивление в районе нечетных резонансов ($\lambda/2, 3\lambda/2$ и т.д.) относительно невелико (около сотен Ом), а в районе четных резонансов ($\lambda, 2\lambda$ и т.д.) достигает нескольких кОм.

Наиболее удобным с точки зрения согласования с кабелем является вибратор, работающий в режиме первого резонанса, т.е. полуволновой вибратор, работающий в режиме первого резонанса, т.е. полуволновой вибратор. Поэтому он используется как в качестве самостоятельной антенны, так и в качестве активного вибратора многоэлементных антенн типа “волновой канал”. В качестве активного вибратора многоэлементных антенн используется также петлевой полуволновой вибратор, входное сопротивление которого превышает входное сопротивление линейного полуволнового вибратора в 4 раза и составляет 292 Ом.

Необходимо помнить, что входной импеданс антенны также зависит от объектов, находящихся вблизи антенны и влияющих на распределение поля в пространстве. Это необходимо учитывать при выборе места установки антенны.

Зависимость входного импеданса антенны от частоты носит название частотной характеристики. Чем меньше меняется входной импеданс антенны при изменении частоты, тем шире ее полоса пропускания. Отклонение входного сопротивления антенны от номинального значения характеризуется коэффициентом возвратных потерь (коэффициентом отражения, КБВ, $K_{\text{ст.У}}$).

Действующая (эффективная) длина характеризует способность приемной антенны извлекать электромагнитную энергию из окружающего пространства и определяется отношением ЭДС, наведенной в антенне, к напряженности электромагнитного поля в месте расположения приемной антенны:

$$l_a = \frac{U}{E}, \quad (5)$$

где: U – значение ЭДС на зажимах антенны, мВ;

E – напряженность электромагнитного поля в месте приема, мВ/м.

Действующая длина антенны (l_a в метрах) связана с ее коэффициентом усиления G_A и входным сопротивлением R_A зависимостью:

$$l_a = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{\frac{G_A R_A}{73,1}}}, \quad (6)$$

Действующая длина линейного полуволнового вибратора равна:

$$l_a = \frac{\lambda}{\pi} = 0,32\lambda \quad (G_A = 1, R_A = 73,1 \text{ Ом}), \quad (7)$$

а петлевого вибратора - $2\lambda/\pi$.

В общем случае напряжение на зажимах антенны, согласованной с фидером снижения, определяется как:

$$U_{[мВ]} = l_{a[m]} \cdot E_{[мВ/м]}. \quad (8)$$

Обычно понятие действующей длины вводят для вибраторов с длиной плеча $l \leq 0,7\lambda$ и имеет простой физический смысл. Обратимся к рис.2, где показан полуволновой вибратор. Ток вдоль вибратора распределен по синусоиде (рис.2а) с максимумом в центре вибратора и нулями по краям. Заштрихованная площадь может быть условно названа «площадью тока» S_I . Представим себе другой вибратор (рис.2б), отличающийся от полуволнового тем, что ток вдоль его длины распределен равномерно с той же амплитудой, что и в центре полуволнового

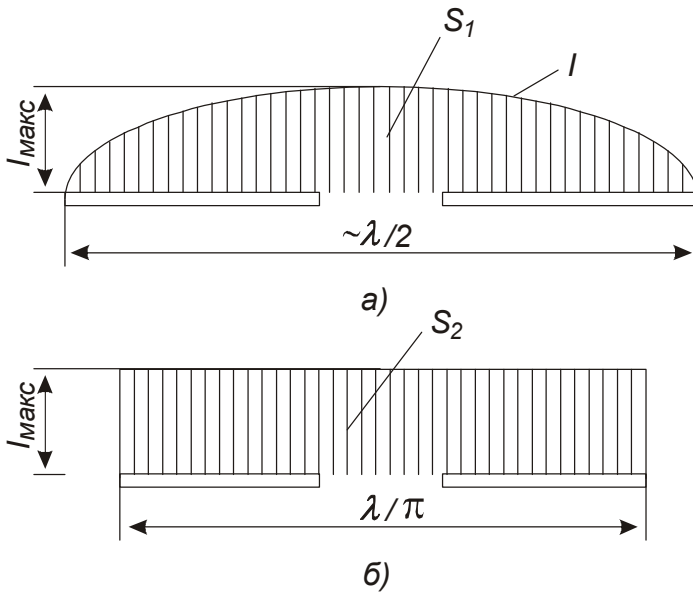


Рис.2

которую в ее справочных параметрах не приводится значение действующей длины. Необходимо также предостеречь начинающих операторов от всяких экспериментов с «чудесными» антеннами, изготовленных из консервных банок, вил, помещаемых в глицерин, дистиллированную воду и т.п. «Чудесных» антенн не существует. Законы физики не обойти, хотя для конкретных местных условий приема в качестве индивидуальной приемной антенны они могут оказаться и вполне пригодными.

Ветровая нагрузка является параметром, характеризующим величину изгибающего момента на мачту при воздействии ветра. Этот параметр зависит от «парусности» антенны и определяет надежность антенны (обычно выбирается минимально возможным). Согласно CENELEC EN 50083-1, если высота установки антенного комплекса более 20 м от поверхности земли, значения ветрового давления могут достигать 1100 N/m^2 (скорость ветра 42 м/с или 150 км/час).

Ветровая нагрузка на антенную систему может определяться из следующего выражения (рис.3):

$$W = c \cdot p \cdot A, \quad (9)$$

где: W – ветровая нагрузка, в Н;
 c – нагрузочный коэффициент;
 p – ветровое давление в паскалях (N/m^2);
 A – площадь компонентов антенны (m^2).

Значение нагрузочного коэффициента c принимается: $c = 1,37$ при ветровом давлении до 1100 N/m^2 и $c = 1,2$ при ветровом давлении свыше 1100 N/m^2 . Нагрузка за счет снега и до-

ждя здесь не учтена. Изгибающий момент в точке фиксации, указанной на рис.3, определяется из выражения:

$$M_g = W_1 \cdot a_1 + W_2 \cdot a_2 + W_n \cdot a_n, \quad (10)$$

где M_g – изгибающий момент в Н•м;

$W_1, W_2 \dots W_n$ – ветровые нагрузки в Н;

$a_1, a_2 \dots a_n$ – расстояния от антенн до точки фиксации, м.

Для антенных систем с мачтами максимально свободной длины до 6 м, изгибающий момент не должен превышать $1650 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Сюда также должна включаться ветровая нагрузка мачты. Фиксированная часть мачты должна составлять не менее одной шестой свободной длины.

Сталь, из которой изготовлена мачта, должна иметь гарантированный предел расширения, и максимальная нагрузка не должна превышать 90% от предела расширения так, чтобы мачта не сломалась, а только выгнулась. Минимальная толщина стенки мачты в области крепления должна быть не менее 2 мм.

Исходя из выше изложенного, при расчете антенного комплекса НТВ СКТ необходимо обратить внимание на величину максимального изгибающего момента мачты в месте фиксации.

вибратора. Для того, чтобы «площадь тока» S_2 второго, воображаемого вибратора была равна «площади тока» полуволнового вибратора, нужно, чтобы длина второго вибратора была равна λ/π . Эта длина и называется действующей длиной полуволнового вибратора. Таким образом, действующая длина полуволнового вибратора равна длине такого воображаемого вибратора равномерным распределением тока, который имеет «площадь тока» полуволнового вибратора. Действующая длина полуволнового вибратора в пределах полосы частот одного телевизионного канала мало зависит от частоты и в расчете ее можно считать постоянной.

Отметим, что понятие действующей длины используется, в основном, при расчете и проектировании антенн. Оператор СКТ обычно выбирает уже конструктивно законченную антенну (по критерию максимального коэффициента усиления для отдаленного приема и максимальному КЗД для городских условий приема), на

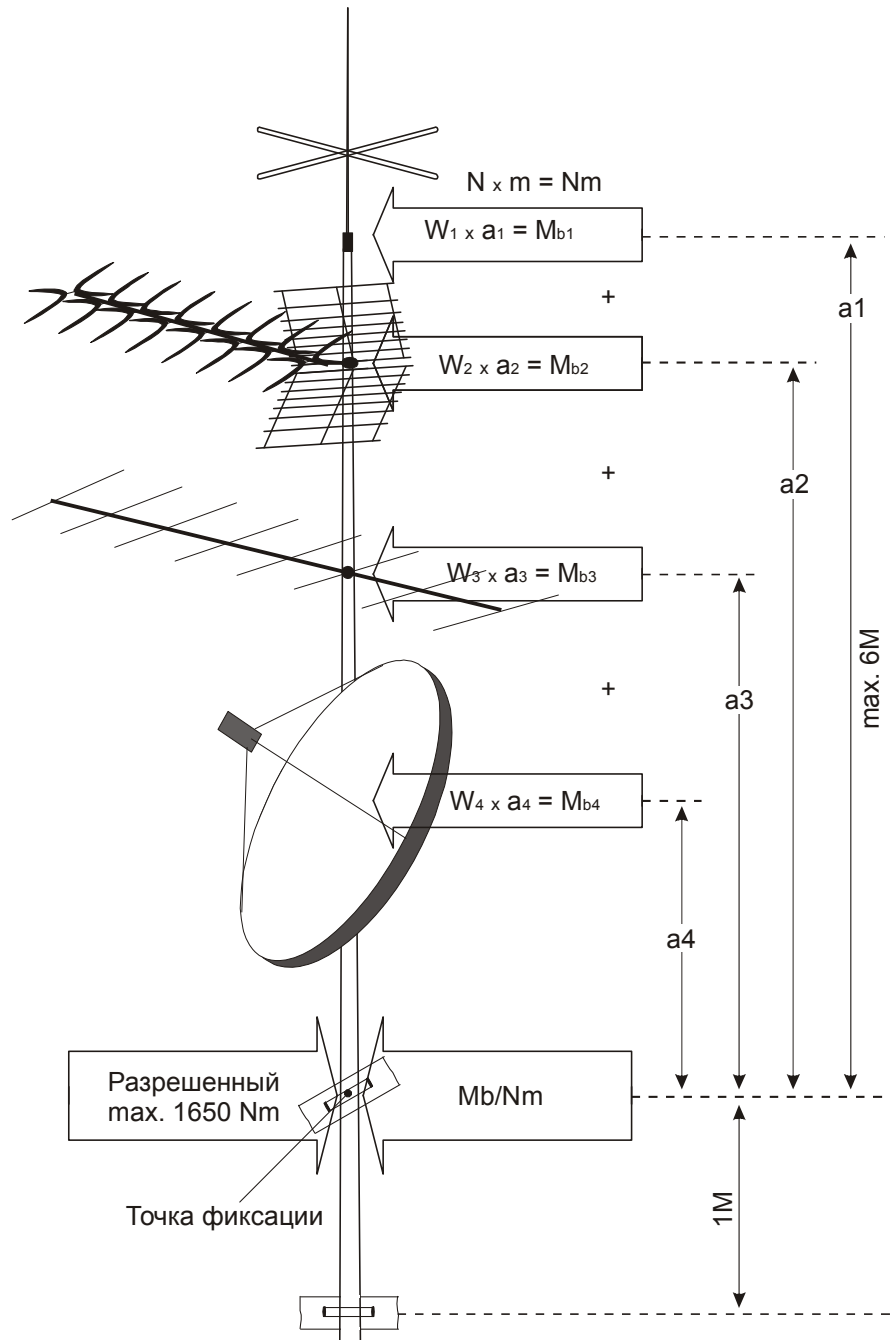


Рис.3

Конструкция антенны является маловажным параметром при ее установке в СКТ.

Важно обратить внимание не на удобство ее сборки, а на долговременную механическую стабильность ее конструкции. Например, некоторые конструкции антенн фирм Cobeg и Funke диапазонов МВІ, МВІІ обладают очень низкой механической стабильностью фиксации вибраторов. Наиболее сильным динамическим толчком, приводящим к дезориентации одного из вибраторов, является коллективный «старт» ворон, часто садящихся на удобные для них вибраторы.

Наибольшее распространение в СКТ получили директорные («волновой канал») и логопериодические антенны. Директорные антенны обладают большим коэффициентом усиления и просты в изготовлении. Логопериодические антенны устроены более сложно и при тех же габаритных размерах, что и директорные антенны, имеют меньший коэффициент усиления. Однако логопериодические антенны значительно широкополоснее, что позволяет использовать их в большем интервале частот на метровых и дециметровых волнах.