

АНТЕННЫ

- *Антенны для приема радиовещания*
- *Телевизионные антенны*
- *Антенны спутникового телевидения*
- *Антенны для мобильной связи*

МАСТЕР-КЛАСС



FOLIO

Антенны

Введение

Более 100 лет назад в одной из лабораторий Кронштадтской минной школы Александр Степанович Попов проводил свои эксперименты по увеличению радиуса действия первого радиоприемника. Все дальше и дальше относили приемник от передатчика, но звонок, который отмечал радиосигналы, исправно звонил. Наконец приемник был поставлен в самую дальнюю комнату, и звонок замолк. Приемник молчал несмотря на все попытки изобретателя «оживить» его. Но однажды, когда приемник был переставлен на другой стол, возле которого шла проволока из лаборатории, где был установлен передатчик, звонок вдруг зазвонил. Александр Степанович попробовал подключить к приемнику кусок провода, и он стал работать более устойчиво. Тогда приемник с подключенным к нему проводом был вынесен в сад, но там его действие не прекратилось. Так была создана антенна – один из самых важных компонентов всех систем коммуникаций, радиовещания и телевидения.

Появление антенн ознаменовало переход человечества в новую эру – эру теле- и радиокоммуникаций, мобильной связи и Интернета. С тех пор было создано очень много антенн разнообразных конструкций, в соответствии с их назначением. В настоящее время усовершенствование старых конструкций антенн и создание новых все еще продолжается, поскольку информационные потребности человечества возрастают и необходимость удовлетворять их не угасает.

Сегодня, несмотря на значительный прогресс в развитии антенн телевизионного вещания, проблема индивидуального приема телевизионных передач остается актуальной. Прежде всего, она интересует сельских жителей и людей, проживающих на территориях, расположенных в зонах неуверенного приема: на местности со сложным рельефом, в отдаленных районных центрах и приграничных населенных пунктах, когда есть желание смотреть передачи соседних стран.

В нашей книге представлен обзор основных видов антенн, применяемых для осуществления приема программ радиовещания и телевидения, описаны их наиболее важные параметры и эксплуатационные характеристики. Кроме этого в книге приведены некоторые схемы и рекомендации для самостоятельного конструирования антенн различных типов. Показано, что, несмотря на кажущуюся сложность конструкций антенн, их в большинстве случаев можно изготовить в домашних условиях. Надеемся, что приведенные в книге советы помогут людям, имеющим даже минимальные познания в радиотехнике, самостоятельно выбрать подходящую антенну, установить ее и добиться устойчивого приема той или иной телестанции, повысив тем самым качество уже принимаемых программ.

Что же такое антенна?

Антенна – устройство, которое излучает подведенную к нему высокочастотную энергию в виде электромагнитных волн в окружающее пространство (передающая антенна) или принимает высокочастотную энергию свободных колебаний (приемная антенна) и превращает ее в энергию электромагнитных колебаний, поступающую по фидеру на вход приемного устройства.

Фидер – это линия передачи (антенный кабель), предназначенная для транспортировки сигнала, принятого антенной к приемнику. Основная задача линии передачи (фидера) – осуществление транспортировки электромагнитной энергии, принятой антенной, к приемнику с минимальными потерями. От выбора фидерной линии зависит качество приема программ телевидения и радиовещания.

Передающая и приемная антенны обладают свойством взаимности, то есть одна и та же антенна может излучать или принимать электромагнитные волны, причем в обоих режимах она имеет одинаковые характеристики.

К передающим антеннам предъявляют дополнительные требования, связанные с большими подводимыми мощностями высокочастотной энергии, поэтому конструктивно приемные антенны проще передающих.

Свойства взаимности широко используются для определения характеристик антенн, так как некоторые параметры проще определять в режиме передачи, чем в режиме приема. Каждая антенна имеет целый ряд определенных характеристик, необходимых для оценки ее качества.

Основные параметры антенн

К основным параметрам приемных антенн относятся следующие:

РАБОЧИЙ ДИАПАЗОН ЧАСТОТ (полоса пропускания) – это интервал частот, в котором выдержаны все основные параметры приемной антенны: согласование, коэффициент усиления, коэффициент защитного действия и др. За полосу пропускания принимается спектр частот (определяется принимаемыми телевизионными каналами), на границах которого мощность принятого сигнала уменьшается не более чем в два раза.

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ приемной антенны характеризует зависимость электродвижущей силы (ЭДС), наведенной в антенне электромагнитным полем, от ориентации ее в пространстве. Строится она в полярной (сферической) (рис. 1) или в прямоугольной (рис. 2.) системах координат в двух характерных плоскостях (горизонтальной и вертикальной).

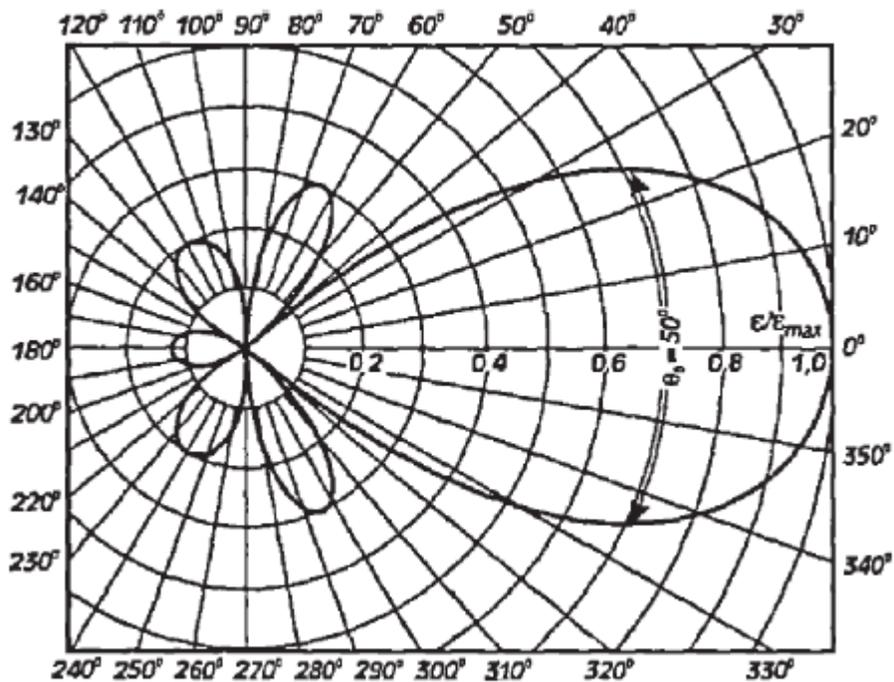


Рис. 1

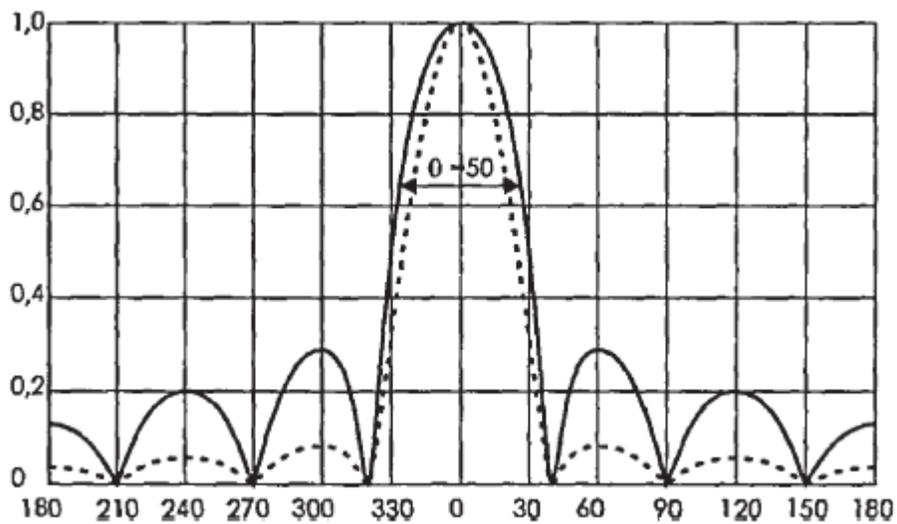


Рис. 2

При повороте антенны в ту или другую сторону от нулевого направления на диаграмме направленности откладываются относительные величины, получаемые путем нормировки текущего значения E (амплитуды наведенной ЭДС) к ее максимальному значению E_{\max} , то есть E/E_{\max} . Если возвести в квадрат относительные значения ЭДС, соответствующие различным направлениям прихода сигнала, то можно построить диаграмму направленности по мощности.

Лепесток, соответствующий максимальному сигналу или нулевому направлению, называют основным или главным, остальные – боковыми или задними (в зависимости от расположения по отношению к главному лепестку) (рис. 1, 2).

Для удобства сравнения диаграмм направленности разных антенн их обычно нормируют, для чего максимальную величину ЭДС принимают за единицу.

Основным параметром диаграммы направленности является угол раствора (ширина) главного лепестка, в пределах которого ЭДС, наведенная в антенне электромагнитным полем, спадает до уровня 0,707, или мощность, спадающая до уровня 0,5 от максимальной. По ширине главного лепестка судят о направленных свойствах антенны. Чем эта ширина меньше, тем больше направленность антенны.

Форма диаграммы направленности зависит от типа и конструкции антенны. Так, например, диаграмма направленности полуволнового вибратора в горизонтальной плоскости напоминает восьмерку, а в вертикальной – круг. Антенна «волновой канал» в своей диаграмме направленности имеет ярко выраженный главный лепесток, а с увеличением числа директоров в антенне главный и боковые лепестки сужаются, при этом улучшаются направленные свойства антенны.

КОЭФФИЦИЕНТ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ (КНД) характеризует направленные свойства антенн и представляет собой число, показывающее, во сколько раз мощность сигнала, принятая антенной, больше мощности, которую примет эталонная антенна (полуволновой вибратор). КНД (D) зависит от ширины диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Приближенная формула имеет вид:

$$D \approx 41200 k^2 / H \cdot V, (1.1)$$

где: k – коэффициент, равный 1° ;

H – ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, град.;

V – ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости, град.

На практике часто требуется оценить КНД по отношению не к ненаправленной, а к дипольной антенне. В этом случае значение КНД, вычисленное по указанной формуле, должно быть уменьшено в 1,64 раза. Для расчета КНД в децибелах берут 10 десятичных логарифмов значения КНД (D (дБ) = $10 \lg D$) и для расчета по отношению к диполу уменьшают полученное значение на 2,15 дБ.

КНД связан с коэффициентом усиления по мощности G_p соотношением:

$$G_p = D \cdot \eta, (1.2)$$

где: η – коэффициент полезного действия (КПД) антенны.

На метровых и дециметровых волнах КПД для приемных антенн близок к единице – около 0,95.

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ АНТЕННЫ показывает, насколько уровень наводимого в ней сигнала превышает уровень сигнала на эталонной антенне. В качестве эталонной антенны принимают полуволновой вибратор или изотропную антенну (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 дБ (в 1,28 раза по напряжению или в 1,64 раза по мощности). Следовательно, если возникнет необходимость пересчитать коэффициент усиления антенны по напряжению или по мощности относительно изотропной антенны, то необходимо разделить известную величину на 1,28 или 1,64, в результате чего получим коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора. Если G антенны указан в децибелах относительно изотропной антенны, то для пересчета его относительно полуволнового вибратора необходимо вычесть 2,15 дБ.

Например, если относительно изотропной антенны $G = 6,5$ дБ, то относительно полуволнового вибратора $G = 6,5 - 2,15 = 4,35$ дБ.

При сравнении антенн следует обращать внимание на то, как вычисляется коэффициент усиления: по напряжению или по мощности:

$$G_p = P_o/P_e = 10 \cdot \lg(P_o/P_e) \text{ (дБ); (1.3)}$$

$$G_u = U_o \cdot U_e = 20 \cdot \lg(U_o \cdot U_e) \text{ (дБ); (1.4)}$$

где: P_o – мощность, принятая антенной;

P_e – мощность, принятая эталонной антенной;

U_o – напряжение на антенне;

U_e – напряжение на эталонной антенне.

Среднее значение коэффициента усиления антенны в рабочей полосе частот – это среднее арифметическое значение коэффициентов усиления в децибелах, измеренных на средних частотах каждого из каналов, входящих в рабочую полосу частот, а также на крайних частотах этой полосы.

Неравномерность коэффициента усиления – это отношение максимального коэффициента усиления к минимальному в полосе частот принимаемых каналов.

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ (КЗД) определяет **ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ АНТЕННЫ** – это отношение напряжения, получаемого от антенны на согласованной нагрузке при приеме с заднего или бокового направления, к напряжению на той же нагрузке при приеме с главного направления.

Помехозащитность в децибелах определяют по формуле:

$$КЗД = 20 \cdot \lg(E_{зад}/E_{глав.}) \text{ (дБ)}. (1.5)$$

В зарубежных источниках помехозащитность выражают переднезадним отношением (ПЗО), которое характеризует меру направленности антенны для углов 0° и 180° . ПЗО представляет собой отношение напряжений, возникающих на входе антенны при облучении ее с этих направлений:

$$ПЗО = U_{0^\circ}/U_{180^\circ}. (1.6)$$

Для одной и той же антенны величины КЗД и ПЗО по модулю равны (величина КЗД отрицательная). Встречается определение помехозащищенности как уровень боковых лепестков (УБЛ) диаграммы направленности – это отношение ЭДС при приеме со стороны максимума наибольшего бокового лепестка к ЭДС при приеме со стороны максимума основного лепестка. Уровень боковых лепестков представляют в относительных единицах или процентах.

$$УБЛ = (E_{\text{макс. бок.}} / E_{\text{макс. гл.}}) \cdot 100 \%. \quad (1.7)$$

При конструировании антенн уровни боковых и задних лепестков стремятся свести к минимуму, чтобы улучшить помехозащищенность антенн.

ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ АНТЕННЫ характеризует ее импедансные свойства в точке питания (в месте подсоединения фидера) и равно отношению напряжения к току на входе фидера. В общем случае входное сопротивление антенны $Z_{\text{вх}}$ содержит резистивную $R_{\text{вх}}$ и реактивную $X_{\text{вх}}$ (емкостную или индуктивную) составляющие:

$$Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} + X_{\text{вх}} \quad (1.8)$$

Чем меньше реактивная составляющая $X_{\text{вх}}$ и чем ближе $R_{\text{вх}}$ к волновому сопротивлению фидера линии, тем лучше антенна согласована. Невыполнение условия согласования приводит к появлению многократных отражений сигналов в антенном кабеле, проявляющихся в виде повторных, сдвинутых по горизонтали изображений на экране телевизора и частичной потере мощности принимаемых сигналов в фидере.

Для уменьшения потери мощности антенну необходимо настроить в резонанс с частотой принимаемых каналов. В случае если антенна работает в широком диапазоне ТВ каналов, ее следует настраивать на среднюю частоту диапазона. Практически настройка сводится к подбору геометрических размеров и элементов антенны, а также расположения клемм, к которым подводится фидерная линия. Резонанс антенны достигается в том случае, когда по длине вибратора укладывается целое число полуволн. Если число полуволн, укладываемых вдоль вибратора, нечетное ($\lambda/2$, $3\lambda/2$ и т. д.), то входное сопротивление мало (от 73 Ом при длине вибратора $\lambda/2$ до 120 Ом при большем числе полуволн). Если же число полуволн четное (λ , 2λ , 3λ и т. д.), то входное сопротивление велико (от 400–500 Ом до 1–2 кОм в зависимости от диаметра проводников).

На частотах ниже резонансной реактивная составляющая имеет емкостный, а на частотах выше резонансной – индуктивный характер. Входное сопротивление антенны также зависит от объектов, находящихся вблизи антенны и влияющих на распределение поля в пространстве, что необходимо учитывать при установке антенны.

Зависимость входного сопротивления антенны от частоты носит название **ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ**. Чем меньше меняется входное сопротивление антенны при изменении частоты, тем шире полоса ее пропускания.

КОЭФФИЦИЕНТ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ (КБВ) показывает степень согласования приемной антенны с фидером (кабелем) снижения. Он численно равен отношению мини-

мального напряжения (узел) линии к максимальному напряжению (пучность), которые имели бы место при измерении вдоль фидера при работе антенны в режиме передачи:

$$КБВ = U_{min} / U_{max}. \quad (1.9a)$$

Выражается КБВ в относительных единицах: чем больше значение КБВ, тем эффективнее передача сигнала от антенны к телевизору. Полное согласование будет в том случае, когда сопротивление антенны R_a и волновое сопротивление фидера R_ϕ равны ($R_a = R_\phi$). При чисто бегущей волне ток и напряжение по длине фидера не имеют ни минимума, ни максимума, а КБВ равен единице. Такой режим согласования практически получить трудно, вполне достаточно считать $КБВ > 0,5$, что соответствует снижению мощности принимаемого сигнала до 10 %. Чем выше значение КБВ (в антеннах различных конструкций находится в пределах 0,25-0,6), тем эффективнее передача сигнала от антенны к телевизору и выше качество приема.

КОЭФФИЦИЕНТ СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ (КСВ) – величина, обратная КБВ:

$$КСВ = 1/КБВ. \quad (1.9б)$$

КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ представляет собой отношение амплитуды отраженной волны к амплитуде падающей волны:

$$|P| = |U_{omp} / U_{пад.}|. \quad (1.10)$$

ДЕЙСТВУЮЩАЯ (ЭФФЕКТИВНАЯ) ДЛИНА антенны характеризует способность приемной антенны извлекать электромагнитную энергию из окружающего пространства и определяется отношением ЭДС, наведенной в антенне, к напряженности электрического поля в месте расположения приемной антенны:

$$l_d = U/E, \quad (1.11)$$

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

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

Действующая длина антенны (l_d в метрах) связана с коэффициентом усиления и входным сопротивлением антенны следующим образом:

$$l_d = (\lambda/\pi) \sqrt{G \cdot R_a / 73,1}, \quad (1.12)$$

где: λ – средняя длина волны, м;

G – коэффициент усиления антенны;

R_a – сопротивление антенны, Ом;

$\pi = 3,14$.

Действующая длина полуволнового вибратора равна:

$$l_d = \lambda/\pi = 0,32\lambda \quad (\text{при } G = 1, R = 73,1 \text{ Ом}). \quad (1.13)$$

Напряжение на выходе антенны, согласованной с приемником, определяется следующим образом:

$$U = l_0 \cdot E/2, (1.14)$$

где: U – значение ЭДС на выходе антенны, мкВ;

E – напряженность электрического поля в месте приема, мкВ/м.

Обычно понятие действующей длины вводят для вибраторов с длиной плеча $l < 0,7\lambda$.

Антенны для приема радиовещания

Поскольку большинство современных радиоприемников являются многоканальными и обладают встроенными антеннами с повышенной чувствительностью, необходимость в создании любительских радиостанций и целых антенных комплексов для приема нескольких радиостанций, как это было, скажем, на заре развития радиотехники, отпала. Более того, популярность радио на современном этапе развития нашего общества заметно упала. Этим объясняется некоторое снижение интереса к разработке новых антенн для приема радиостанций. Поэтому в данной книге ограничимся кратким рассмотрением основных типов антенн, используемых для приема радиопередач в диапазонах длинных волн (ДВ), средних волн (СВ) и коротких волн (КВ) на различные расстояния.

Антенны для дальнего приема ДВ, СВ и КВ

Наиболее распространенной антенной для приема радиовещания в диапазонах ДВ, СВ и КВ является длинный вертикальный провод. Если входные клеммы радиоприемника подключить к нижнему концу такого вертикального провода и к хорошему заземлению, антенна будет представлять собой несимметричный вибратор. Диаграмма направленности такой антенны в горизонтальной плоскости получается круговой: антенна принимает одинаково со всех азимутальных направлений. В вертикальной плоскости диаграмма направленности похожа на разрезанную пополам лежащую восьмерку: максимум приема осуществляется с горизонтального направления вдоль поверхности Земли, с увеличением угла местности прием ослабевает, а с направления, соответствующего зениту, отсутствует.

В теории антенн известен принцип взаимности, согласно которому все параметры приемной антенны можно определить по известным параметрам этой же антенны в режиме передачи. Тогда можно представить себе рассматриваемую антенну как передающую, подключенную к выходу радиопередатчика. Излучение сигнала антенной происходит под воздействием тока высокой частоты, протекающего в проводе антенны. В нижней части вертикального провода антенны ток максимален, по мере продвижения вверх за счет излучения сила тока уменьшается, а на верхнем конце равна нулю. Из-за этого наиболее эффективна нижняя часть этой антенны, а самая верхняя часть практически не используется. Для повышения эффективности антенны необходимо добиться излучения не только нижней, но и верхней ее частью за счет более равномерного распределения тока вдоль провода. Это достигается подключением верхнего конца провода к каким-либо дополнительным проводникам, которые за счет емкости между ними и поверхностью Земли обеспечат появление тока в этой точке антенны.

Наиболее простое решение – подключить верхний конец вертикального провода антенны к горизонтальному проводу. Такие антенны получили название Г-образных и Т-образных, если вертикальный провод подключен к концу или к середине горизонтального соответственно. Обе антенны обладают одинаковыми параметрами и свойствами, а выбор одной из них зависит исключительно от возможностей конструктивного исполнения. Горизонтальную часть антенны лучше всего выполнять из антенного канатика как можно большей длины. Концы с помощью орешковых изоляторов крепятся к каким-либо высоким предметам на местности: к стенам зданий, деревьям, дымовым трубам.

Использовать в качестве опор мачты линий электропередач, телеграфные столбы или столбы энергоснабжения категорически запрещается. Горизонтальная часть антенны не должна располагаться под или над проводами телефонных линий, линий радиотрансляции или электроосветительной сети, так как при случайном обрыве того или иного провода возможна аварийная ситуация. К горизонтальной части антенны в удобном месте припаивается провод снижения – лучше всего многожильный медный провод с резиновой или пластмассовой изоляцией с хлопчатобумажной лакированной оплеткой марки БПВЛ или ЛПРГС сечением не менее 1,5 мм. При наличии выбора предпочтение следует отдавать проводу БПВЛ, жила которого состоит из медных луженых проволок, что удобнее для пайки. Жила провода ЛПРГС состоит из нелуженых медных проволок, поверхность каждой из которых из-за контакта с резиновой изоляцией сильно окислена и перед пайкой требует тщательной зачистки. Можно, конечно, использовать в качестве провода снижения и другие марки проводов. Внутри здания провод снижения пропускается через специально просверленные отверстия в рамах окна, куда предварительно вставляются трубчатые фарфоровые изоляторы. Снижение не должно касаться краев крыши, иначе под воздействием ветра изоляция провода протрется и прикосновение оголенной жилы к железной крыше или выполненной из другого материала, но мокрой во время дождя, будет сопровождаться тресками в приемнике. Конец провода снижения заправляется в однополосную вилку для подключения к антенному гнезду радиоприемника.

Гнездо заземления приемника должно быть надежно присоединено к Земле. При наличии в здании водопровода его можно соединить с водопроводной трубой таким же проводом, который используется для снижения антенны. При отсутствии водопровода необходимо сделать специальное заземление. Для этого под окном выкапывается яма, желательна глубиной до уровня грунтовых вод. В яму закапывается какой-нибудь массивный металлический предмет, к которому припаивается провод заземления, насыпается один-два килограмма поваренной соли и заливается ведром воды, после чего яма засыпается. В летнее сухое время желательно время от времени поливать это место водой.

В сельской местности для защиты от грозных разрядов необходимо снабдить снижение антенны разрядником. Он представляет собой две металлические зубчатые пластинки, расположенные зубцами одна к другой с расстоянием в 2–3 мм между остриями зубцов. Пластинки крепятся к основанию из изоляционного материала в виде пластинки оргстекла, которая устанавливается на стене. С одной зубчатой пластинкой соединяется провод заземления, с другой – провод снижения антенны. Полезно также во время грозы соединять между собой накоротко пластинки разрядника, заземляя антенну.

Часто отсутствует возможность крепления горизонтальной части антенны достаточной длины. В этих случаях можно рекомендовать установку антенны типа «Метелка». Конструкция такой антенны достаточно проста. Верхняя часть антенны выполняется в виде пучка проводов, расходящихся под углом от 45°-90°. Этот угол практически не влияет на работу антенны. Пучок собирают из 19, 37 или 61 куска голого медного провода. Длина проводов для пучка берется в пределах 500-1000 мм, а диаметр провода – 1,5–5 мм. Чем длиннее провода, тем больше должен быть их диаметр для обеспечения достаточной жесткости конструкции. Каждый провод правят для получения ровного и прямого куска. Один конец каждого провода зачищают на длину 50 мм и залуживают окунанием в расплавленный припой с использованием канифольного флюса.

В результате залуживания на поверхности проводов не должно быть излишков припоя. Затем все провода собирают в пучок, который должен представлять собой правильный шестигранник. Конец пучка из залуженных проводов обматывается медным луженым проводом диаметром 1,5 мм, чтобы получить бандаж шириной примерно 30 мм. Намотка ведется плотно, с натяжением от витка к витку. Концы бандажного провода скручивают, после чего бандаж нужно пропаять, либо погрузив его в расплавленный припой, либо паяльной лампой, так как мощности паяльника не хватит. Запаянный конец пучка крепят на фарфоровом изоляторе, который укрепляют на шесте. Свободные концы проводов пучка разводят равномерно в стороны, чтобы получить объемный конус. К бандажу припаивается провод снижения, а шест устанавливается на крыше. При этом необходимо предусмотреть, чтобы при случайном падении шеста он не коснулся каких-либо проводов. При большой длине шеста его можно крепить одним или двумя ярусами растяжек, которые изготавливаются из стальной оцинкованной проволоки. Каждый ярус обычно содержит по три растяжки.

Эффективность рассмотренных антенн определяется длиной вертикальной части. Напряжение сигнала на антенном входе радиоприемника определяется произведением напряженности электромагнитного поля в точке приема на действующую высоту антенны. При наличии горизонтальной части, или метелки, действующей высотой антенны можно приближенно считать геометрическую длину вертикальной части. Поэтому для улучшения приема далеко расположенных радиовещательных станций необходимо стремиться к удлинению вертикальной части антенны. В отличие от телевизионных антенн, когда в условиях дальнего приема важна высота расположения антенны над поверхностью Земли, здесь имеет значение высота расположения горизонтальной части, или метелки, над уровнем размещения радиоприемника, так как прием осуществляется именно вертикальной частью антенны.

Комнатные антенны для диапазонов ДВ, СВ и КВ

Зачастую радиослушатели не ставят перед собой задачу приема радиопередач дальних радиостанций; в этом случае вполне можно ограничиться комнатной антенной. Простейшая комнатная антенна представляет собой кусок голого или эмалированного медного провода диаметром 0,4–0,8 мм, протянутого под потолком от одной стены к другой, к которому припаян другой кусок такого же провода, подключенный к антенному гнезду приемника. При этом использовать гнездо заземления нет необходимости. Следует отметить, что не только все современные радиовещательные приемники, но и приемники, выпущенные 20–30 лет назад, оснащены ферритовой магнитной антенной для приема передач в диапазонах длинных и средних волн. Многие приемники имеют ручку поворота магнитной антенны, что позволяет выбрать ее оптимальное положение, соответствующее наилучшему приему при минимуме помех. Портативные переносные приемники также оборудованы ферритовыми магнитными антеннами для работы в диапазонах ДВ и СВ, а некоторые, такие как «Украина-201» и «Меридиан-201», – дополнительно магнитной антенной с ферритовым сердечником для работы в диапазоне КВ.

Помимо магнитной антенны все радиоприемники имеют гнездо для подключения наружной антенны, но если речь не идет о дальнем приеме, использование комнатной антенны не дает преимуществ перед имеющейся магнитной антенной. Дело в том, что не только комнатные, но и наружные антенны, доступные для изготовления рядовым вла-

дельцам радиоприемника, в диапазонах ДВ, СВ и КВ являются ненаправленными из-за того, что их размеры для диапазона КВ значительно меньше, а для диапазонов СВ и ДВ несоизмеримо меньше длины волны. Магнитная же антенна является направленной и поэтому обладает пространственной избирательностью, что позволяет, поворачивая ее, ослабить уровень помех, поступающих к антенне с других направлений, и выбрать положение, соответствующее максимуму полезного сигнала. Наконец, благодаря использованию в магнитных антеннах ферритовых сердечников, их действующая высота больше, чем у комнатных антенн доступных размеров.

В те времена, когда эфир, особенно в диапазонах КВ, был напичкан радиостанциями специального назначения («глушилками»), использование направленных магнитных антенн иногда позволяло избавиться от этих специально создаваемых помех или в какой-то степени их ослабить. Когда эти радиостанции были упразднены, проявился недостаток направленных свойств магнитных антенн, так как при приеме радиовещания желательно иметь ненаправленную антенну: заранее неизвестно, с какого направления будет выполняться прием той или иной радиостанции. Однако до настоящего времени промышленность не выпускает радиовещательных приемников, оборудованных ненаправленной встроенной антенной. В диапазонах КВ радиоволны имеют, как правило, горизонтальную поляризацию. Поэтому в тех случаях, когда прием ведется переносным или портативным радиоприемником, проще всего поставить приемник набок, так чтобы встроенная в него ферритовая антенна оказалась вертикальной. Тогда в горизонтальной плоскости ее диаграмма направленности станет круговой – ненаправленной. Стационарный радиоприемник кантовать практически невозможно. Тем не менее, если конструируется самодельный приемник или есть желание переделать уже готовый, этот недостаток можно устранить.

Имеется возможность горизонтально расположенную магнитную антенну сделать ненаправленной. Для этого используют два ферритовых стержня прямоугольного сечения длиной 50–60 мм, которые приклеивают перпендикулярно друг к другу клеем БФ-2 или эпоксидным клеем. Перед склейкой необходимо тщательно притереть торец одного стержня к поверхности другого, чтобы получилась Г-образная конструкция. Антенную катушку необходимо равномерно намотать по всей длине Г-образного стержня.

Существуют и более сложные рекомендации, когда предлагается наматывать на каждый стержень отдельные антенные катушки и катушки связи, а антенные катушки настраивать отдельными конденсаторами переменной емкости. При этом требуется обеспечить между катушками связи сдвиг фаз, равный 90° . Это достигается включением в цепь одной из катушек связи нескольких витков, размещенных на другом стержне магнитной антенны.

Прием сигналов удаленных радиостанций в условиях современного города связан с наличием значительного уровня промышленных помех за счет электрического и автомобильного транспорта, работы коллекторных электродвигателей, кассовых аппаратов, электромедицинской аппаратуры и других потребителей электроэнергии. В этих условиях улучшить прием может применение широкополосной рамочной помехозащищенной антенны. Одна из таких антенн была предложена киевлянином В. Андриановым в журнале «Радио», 1991 г., № 1. Антенна представляет собой одну или две экранированные рамки, каждая из которых выполнена из одного витка коаксиального кабеля длиной 11 м с фидером из такого же кабеля. Связь антенны с фидером осуществляется с помощью трансформатора с объемным витком, обеспечивающим согласование в широкой полосе

частот, включающей даже диапазон ультракоротких волн (УКВ). Конструкция этого трансформатора подробно описана автором в статье. Антенна была установлена на лоджии третьего этажа панельного дома и использовалась совместно с радиоприемником «Ишим-003-1». Приемник обеспечивал уверенный прием радиостанций в диапазоне от 150 кГц до 18 МГц, а также в диапазоне УКВ на расстоянии 7 км от передатчика при полном затенении трассы высотными зданиями.

Оригинальная самодельная рамочная антенна средневолнового диапазона была предложена известным специалистом радиоприема В. Поляковым в журнале «Радио», 1994 г., № 1. Антенна реагирует на магнитную составляющую электромагнитного поля и может служить заменой ферритовой антенны, а ее электрические параметры могут быть даже лучше, чем у ферритовой. Рамка антенны выполнена на каркасе диаметром 125 мм корзиночной намоткой и настраивается стандартным конденсатором переменной емкости. Обмотка содержит 37 витков провода «литцендрат» марки ЛЭШО 21x0,07 мм. Добротность этой рамочной антенны изменяется по диапазону в пределах 200–280 при полосе пропускания до 6 кГц. Напряжение на выводах контура рамочной антенны, наводимое полем центральных радиостанций, составило 15–300 мВ на девятом этаже панельного дома. Автор предлагает располагать антенну вне радиоприемника, на небольшом от него расстоянии. Входным каскадом радиоприемника рекомендуется истоковый повторитель на транзисторе КП303В.

Суррогатные антенны

Достаточно хороший прием радиовещания в диапазонах ДВ, СВ и КВ достигается с применением в городских условиях суррогатных антенн, в качестве которых можно использовать трубы центрального отопления или водопровода. Хотя обычно они заземлены, их разветвленная сеть внутри здания обеспечивает наведение электромагнитным полем достаточно высокого уровня сигнала. В результате прием на такую суррогатную антенну оказывается значительно лучше, чем на комнатную. Единственный недостаток этих антенн состоит в повышенном уровне промышленных помех из-за того, что они воспринимают излучения, возникающие при искровых разрядах от включения и выключения различных потребителей электроэнергии в здании. Подключать к радиоприемнику заземление при использовании такой антенны не требуется.

Необходимо предостеречь от применения в качестве суррогатной антенны проводов электроосветительной сети. Некоторые авторы дают такие рекомендации, предлагая подключать антенное гнездо радиоприемника к одному из проводов электросети через разделительный конденсатор, рассчитанный на рабочее напряжение не менее 250 В. Действительно, прием на такую антенну иногда возможен, но не всегда. Дело в том, что некоторые радиоприемники с сетевым питанием содержат сетевой фильтр помех. Конденсаторы этого фильтра замыкают каждый провод сетевого питания на корпус приемника, что сильно ослабляет уровень наведенных сигналов в проводах электросети. Однако главная причина, препятствующая использованию электросети в качестве антенны, заключается в опасности электрического пробоя конденсатора, который рекомендуют включать между проводом электросети и антенным гнездом приемника. При этом возможно перегорание контурных катушек в приемнике и даже поражение электрическим током при прикосновении к металлическим элементам конструкции аппарата. Об уровне помех радиоприему от такого суррогата антенны можно судить по тому, что каждое

включение-выключение потребителя энергии в доме (электрическая лампочка, бытовая техника) приводит к сильному щелчку.

Антенны для диапазона УКВ

Диапазон, отведенный для радиовещания на УКВ, характеризуется теми же особенностями, что и отведенный для телевидения.

Дальность приема радиопередач в диапазоне УКВ определяется зоной прямой видимости и зоной полутени, в которой уровень напряженности поля значительно меньше. Отличие от приема телевизионных сигналов состоит в том, что для приема радиопередач требуется меньшая напряженность поля. Уровень собственных шумов телевизионного приемника составляет примерно 5 мкВ при полосе пропускания 6 МГц. Полоса пропускания радиовещательного УКВ-приемника, определяющая уровень шумов, составляет всего 200 кГц, то есть в 30 раз меньше, чем у телевизионного приемника. В связи с тем что напряжение собственных шумов пропорционально корню квадратному из полосы пропускания, напряжение собственных шумов на входе радиоприемника УКВ примерно в 5,5 раз меньше, чем у телевизора, то есть составляет менее 1 мкВ. Соответственно, можно считать, что и напряженность поля для приема радиопередач может быть примерно в 5,5 раз меньше, чем для приема телевидения. Таким образом, при одинаковых напряженностях поля для приема радиовещания требуется менее эффективная антенна, чем для приема телевидения.

За исключением приведенных соображений антенна для приема радиовещания в диапазоне УКВ ничем не отличается от телевизионной антенны. Поэтому для изготовления такой антенны можно пользоваться приведенными ниже описаниями телевизионных антенн. Необходимо лишь правильно выбрать размеры элементов антенны, для чего берется среднее арифметическое из размеров каждого элемента телевизионной антенны для второго и третьего телевизионных каналов. Это связано с тем, что радиовещание осуществляется как раз в частотном промежутке между полосами частот этих двух каналов. В связи с тем что любая телевизионная антенна рассчитана на прием широкой полосы частот телевизионного канала не менее 6 МГц, а полоса пропускания многих одноканальных телевизионных антенн даже шире, одной антенной можно принимать все радиовещательные станции, работающие в диапазоне УКВ. Если же для приема телевидения используется широкополосная антенна, рассчитанная на диапазон, включающий в себя 2-й и 3-й каналы телевидения, эта же самая антенна может служить и для приема радиовещания. Достаточно установить разветвительную коробку, один из выходов которой соединить телевизионным кабелем с антенным входом УКВ-приемника. Так же можно поступить при наличии телевизионной антенны коллективного пользования, если она рассчитана на прием 2-го и 3-го телевизионных каналов. Использование уже имеющейся телевизионной антенны для приема радиовещания в диапазоне УКВ возможно также и потому, что радиопередатчики этого диапазона территориально совмещены с телецентрами и телевизионными ретрансляторами.

При отсутствии телевизионной антенны для приема передач в УКВ-диапазоне с частотной модуляцией (УКВ-ЧМ) в зоне прямой видимости пригодны разрезной полуволновой вибратор и петлевой вибратор, а в зоне полутени – трехэлементная антенна типа «волновой канал» или одинарная двухэлементная рамочная антенна. При пересчете размеров прежними остаются диаметры трубок, расстояния между концами вибраторов в

точках подключения фидера и расстояние между шлейфом и фидером для рамочной антенны. Подробнее антенны этих типов будут описаны ниже.

Телевизионные антенны

Приемные телевизионные антенны преобразуют энергию электромагнитных волн в высокочастотную энергию, поступающую по телевизионному кабелю к телевизионному приемнику. От антенны в значительной степени зависит качество принимаемого сигнала, поэтому необходимо знать основные параметры антенн и особенности их конструкций.

Телевизионные антенны бывают:

- комнатные, предназначенные для установки внутри помещения;
- встроенные, установленные внутри телевизора;
- наружные, предназначенные для установки вне помещений.

Кроме этого, в зависимости от диапазоновых свойств, антенны разделяют на:

- одноканальные, предназначенные для приема только одного канала;
- многоканальные, предназначенные для приема нескольких телевизионных каналов;
- диапазонные, предназначенные для приема одного или нескольких телевизионных диапазонов.

Рассмотрим кратко основные параметры и конструктивные особенности телевизионных антенн.

Комнатные и встроенные антенны

Условия распространения радиоволн в помещении существенно отличаются от их распространения в свободном пространстве. Интерференционный характер электромагнитного поля внутри помещений выражен более резко (за счет многократных отражений от предметов). Проявляется это в уменьшении напряженности поля и изменении поляризации волн. Приемлемое расположение антенны для одного ТВ-канала может не соответствовать ее расположению для приема другого канала. Качество приема на комнатные и встроенные антенны может меняться даже при хождении людей по комнате.

Напряженность электромагнитного поля внутри здания значительно меньше, чем на открытой местности, а тем более на крыше здания. Значительная часть энергии сигнала поглощается стенами здания – меньше деревянными, сильнее кирпичными, особенно сильное поглощение происходит в железобетонных стенах (в домах, построенных из железобетонных конструкций, затухание сигналов в 3–5 раз больше, чем в деревянных). Сильное влияние на уровень напряженности поля внутри комнаты оказывают размер окон и их расположение: когда окна выходят в сторону телецентра, напряженность поля в комнате заметно выше. Поэтому лучше располагать комнатные антенны вблизи от окон. В густо застроенных районах напряженность поля на нижних этажах в 10–20 раз (на верхних в 5–8 раз) меньше, чем на крыше здания.

В квартирах, где окна выходят в сторону, противоположную телецентру, напряженность поля настолько мала, что не позволяет вести удовлетворительный прием ТВ-программ. Установка на окнах и балконах решеток и затеняющих металлических штор приводит к еще большему уменьшению телевизионного сигнала, а иногда и к невозможности просмотра ранее принимавшихся программ на комнатные антенны.

Качественный прием ТВ-программ на комнатные антенны возможен при условии прямой видимости и расположении квартиры на верхних этажах здания (при многоэтажной застройке).

Разновидностью комнатных антенн являются встроенные антенны, применяемые в переносных телевизорах. Были даже попытки некоторых заводов-изготовителей стационарных телевизоров встроить антенну внутрь футляра телевизора (телевизор «Авангард-55» и некоторые другие). Все портативные телевизионные приемники и в настоящее время оборудуются встроенной телескопической антенной, которая позволяет принимать сигнал без использования наружной антенны. По конструкции это метровая (телескопическая) одноштыревая или двухштыревая антенна. Для приема в диапазоне дециметровых волн используется рамочная антенна. Одноштыревые антенны подключают непосредственно на вход телевизора, двухштыревые и рамочные – через симметрирующий трансформатор. В рабочем положении антенна раздвигается и может быть установлена вертикально или наклонена. В зависимости от принимаемого телевизионного канала подбирают длину штырей телескопической антенны. Прием на встроенные антенны возможен при достаточной мощности телевизионного сигнала.

Комнатные антенны метрового диапазона из-за ограниченности их размера являются слабонаправленными и обладают малым коэффициентом усиления. Поэтому при пониженной напряженности поля в комнате напряжение сигнала на антенном входе телевизора порой оказывается на пороге или даже ниже чувствительности телевизионного приемника. Это приводит к слабой контрастности изображения, наличию на экране шумовой помехи типа «снег» и неустойчивой синхронизации. Антенны дециметрового диапазона имеют меньшие размеры и в комнатных условиях могут быть применены более сложные их конструкции с повышенным коэффициентом усиления. Однако поглощение стенами энергии этого диапазона значительно больше, а чувствительность телевизионного приемника в дециметровом диапазоне хуже. Поэтому и в дециметровом диапазоне напряжение сигнала на входе телевизора редко позволяет получить хорошее изображение.

Если на открытой местности электромагнитное поле имеет характер бегущих волн, то в помещении значительную долю составляют стоячие волны, когда в одних точках пространства возникают пучности напряженности поля (максимумы), а в других точках – узлы (минимумы). Стоячие волны образуются за счет многократных отражений электромагнитных волн от металлических предметов: арматуры железобетонных стен, батарей центрального отопления, труб водопровода и отопления, проводов электросети, радиосети и телефона, предметов домашней обстановки (зеркал, металлических раковин и ванн, металлических элементов мебели). Отражения возникают и от неметаллических предметов из-за того, что они создают неравномерность среды.

Наличие стоячих волн в помещении позволяет поместить комнатную антенну в пучности электромагнитного поля, экспериментально подобрав ее положение. Основным негативным моментом в данном случае является то, что многократно отраженные сигналы поступают к антенне с запаздыванием относительно основного (прямого) сигнала, что приводит к появлению на экране телевизора многократных повторов изображения. Недостаточная контрастность изображения и наличие повторов сильно ухудшают качество картинки. Кроме того, сдвинутые во времени синхронизирующие импульсы, поступающие к телевизору в составе отраженных сигналов, часто приводят к сбоям строчной и кадровой синхронизации.

Перечисленные неприятности, связанные с использованием комнатных антенн, хорошо знакомы большинству владельцев телевизионных приемников, особенно тем, кто имеет стаж телезрителя с давних времен, когда еще не было коллективных антенн. Для получения сравнительно сносного изображения приходится долго и терпеливо подбирать положение антенны в комнате. При этом оптимальное положение антенны, подобранное для одной программы, оказывается совершенно неприемлемым для другой. Уже выбранное оптимальное положение антенны оказывается нестабильным, и через несколько дней приходится снова заново ориентировать антенну.

Тем не менее, в определенных условиях при малоэтажной застройке, в сельской местности и в радиусе 10–15 км от телевизионного передатчика возможность приема телевизионных передач на комнатную антенну не исключена и иногда удается получить достаточно уверенный прием с хорошим качеством изображения. Указать конкретные условия, при которых комнатная антенна может обеспечить хороший телевизионный прием, невозможно. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо опытным путем определить, способна ли комнатная антенна обеспечить нормальный прием передач.

Если нет возможности установить наружную антенну, надо проверить работу вашего телевизора на комнатную антенну соседа, а затем принимать решение о ее приобретении.

В тех случаях, когда прием на комнатную антенну неудовлетворителен, необходимо установить наружную ТВ-антенну, а если такой возможности нет (из-за конструкции здания, отсутствия балкона и др.), следует поставить комнатную телевизионную антенну с усилителем. Усилитель конструктивно встраивается в основание антенны. Его целесообразно применять при приеме слабых сигналов и отсутствии помех (работа промышленных установок, электротранспорта и т. д.).

Разновидности комнатных антенн

В продаже имеются комнатные антенны различных видов. При покупке необходимо выбирать из них такие, которые по своим параметрам подходят для приема необходимых телевизионных каналов в данном районе. Принимаемые телевизионные каналы обычно указывают в паспорте на антенну.

В большинстве случаев условное обозначение комнатных антенн начинается с букв АТ – антенна телевизионная. Третья буква в обозначении указывает на способность антенны к перестройке (П – перестраиваемая, Н – неперестраиваемая): первая цифра – тип антенны, вторая – номер разработки (модификации). Например: АТП-6.1 – антенна телевизионная, перестраиваемая, 6-го типа, 1-й модификации.

Для приема метровых волн комнатные антенны изготавливают по принципу полуволновых или укороченных линейных вибраторов. Наиболее распространена телескопическая комнатная антенна метрового диапазона с шарнирным поворотным устройством, приведенная на рис. 3 в штыревом (а) и ленточном (б) исполнении.

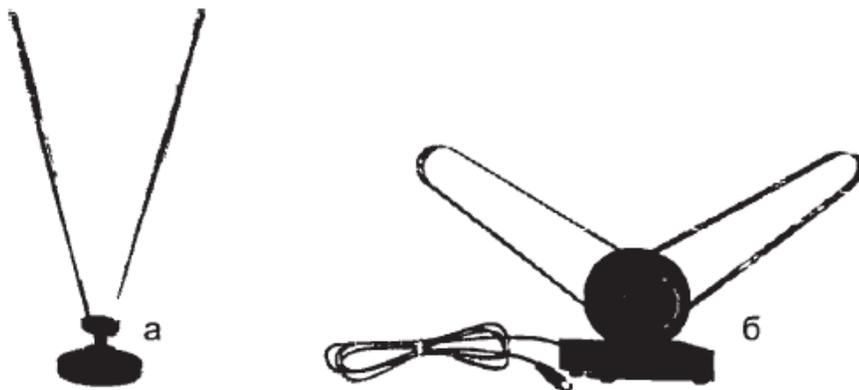


Рис. 3

В некоторых комнатных антеннах для уменьшения геометрической длины вибраторов и облегчения их настройки применяют укорачивающие индуктивности.

Владельцам телевизионных приемников хорошо известны поступавшие в широкую продажу промышленные комнатные антенны, называемые в обиходе «Усы» (рис. 3а). Они представляют собой два телескопических плеча разрезного полуволнового вибратора, шарнирно укрепленных в основании. Телескопическая конструкция плеч позволяет экспериментально подбирать длину вибратора под длину волны принимаемого частотного канала по наилучшему качеству картинки на экране телевизора, а шарнирное крепление дает возможность выбирать значение угла между плечами, которые располагаются в виде буквы V. Для согласования вибраторов комнатных антенн с 75-омным кабелем применяют симметрирующий трансформатор. Симметрирующее устройство на ферритовом кольце, размещенное внутри основания антенны, соединяет ее с коаксиальным кабелем, оснащенным на конце стандартным штекером для подключения к антенному гнезду телевизионного приемника. Такие же антенны в настоящее время входят в комплект некоторых телевизоров, конструкция футляра которых предусматривает крепление подобной антенны. Подобные же антенны выпускались с вибратором в виде металлической тонкой и гибкой упругой ленты. Вращением ручки, установленной в основании антенны, можно было изменять длину плеч вибратора, настраивая его на нужный канал.

Однако в настоящее время благодаря повсеместному использованию коллективных антенн применение комнатных антенн в городских условиях для приема телевизионных передач в метровых диапазонах стало достаточно редким. Такие антенны сейчас в основном используются на дачных участках, расположенных недалеко от города. Теперь широко стали использоваться комнатные антенны для приема телевизионных передач дециметрового диапазона. Промышленность выпускает разнообразные конструкции комнатных дециметровых антенн, пользующихся большим спросом, который вызван быстрым ростом числа телевизионных программ, передающихся в дециметровом диапазоне.

В дециметровом диапазоне волн геометрические размеры антенн значительно меньше, чем в метровом, с учетом чего появилась возможность изготавливать и применять малогабаритные направленные эффективные антенны – «волновой канал», логопериодические и другие. На рис. 4 приведен внешний вид комнатных антенн для приема

каналов ДМВ-диапазона (а) и для одновременного приема каналов МВ- и ДМВ-диапазонов (б).

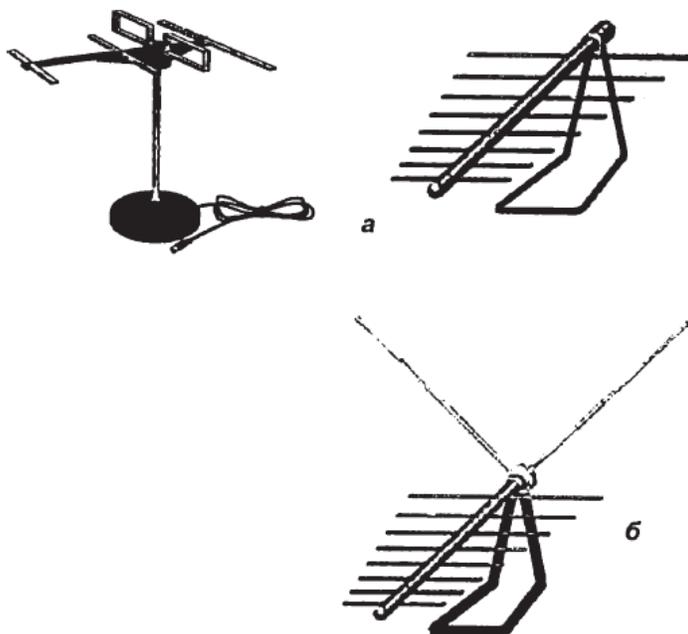


Рис. 4

Логопериодические антенны сочетают повышенный коэффициент усиления с широкой полосой пропускания и в дециметровом диапазоне имеют небольшие габариты, вполне приемлемые для использования в комнате обычных размеров. Иногда логопериодическая комнатная антенна снабжается рефлектором, выполненным из мелкоячеистой проволочной сетки. Некоторые изготовители сочетают конструкцию комнатной логопериодической антенны дециметрового диапазона с транзисторным малошумящим усилителем принятого сигнала. В этом случае антенна называется активной. Хотя при наличии телевизионного приемника, обладающего низким уровнем собственных шумов, приведенных на вход, антенный усилитель не дает выигрыша по чувствительности, его использование обеспечивает компенсацию затухания сигнала в кабеле, соединяющем антенну с телевизором. Это дает возможность использовать тонкий кабель, который более приемлем для комнатной антенны, чем обычно используемый более толстый и менее гибкий.

Ниже приведем несколько примеров комнатных антенн промышленного производства.

Комнатная антенна АТН-7.3 «ОРБИТА-II-I» с усилителем. Для повышения усилительных свойств в комнатных антеннах применяют антенный усилитель. К таким антеннам относится антенна телевизионная комнатная широкополосная АТН-7.3 «ОРБИТА-II-I» с усилителем (рис. 5). Ее удобно подключать к телевизорам, имеющим раздельные выходы МВ- и ДМВ-диапазонов.

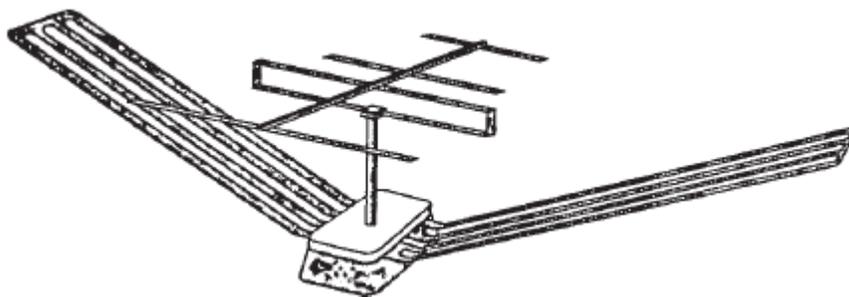


Рис. 5

Сигналы метрового диапазона волн принимает широкополосный плоский вибратор, а дециметрового – четырехэлементный волновой канал, конструктивно расположенный на стойке над широкополосным плоским вибратором. Усилитель, расположенный внутри корпуса антенны, используется для улучшения приема телевизионных каналов в ДМВ-диапазоне. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 6.

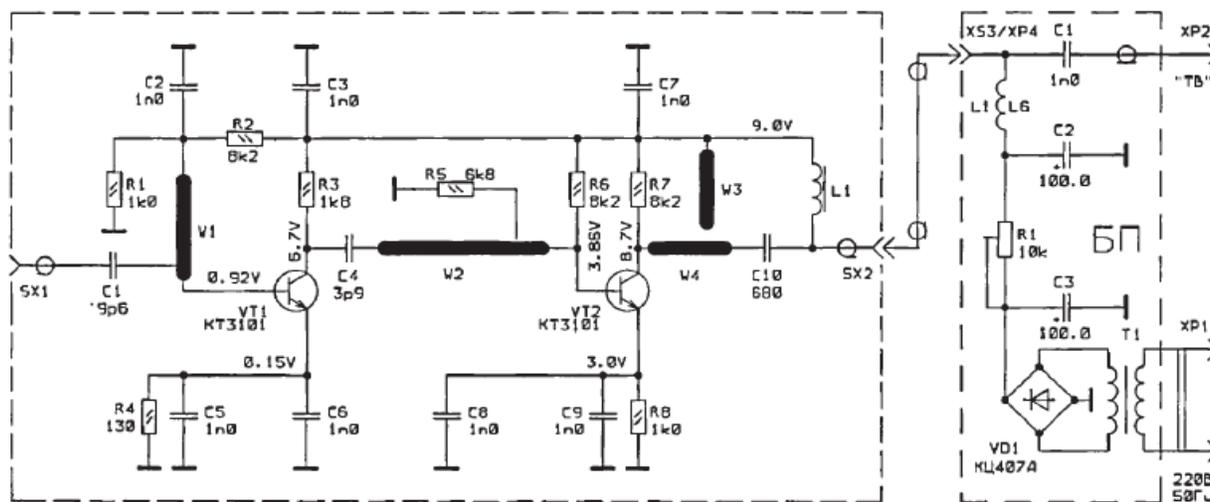


Рис. 6

Коэффициент усиления антенны по отношению к полуволновому вибратору составляет не менее 2 дБ (в МВ-диапазоне 48,5-100 МГц), 0 (в МВ-диапазоне 174-230 МГц), 15 дБ (в ДМВ-диапазоне 470-620 МГц).

Коэффициент бегущей волны, измеренный на конце кабеля снижения, составляет не менее 0,2 в полосе частот 48,5-100 МГц, 0,4 в полосе частот 174-230 МГц, 0,4 в полосе частот 470-620 МГц.

Коэффициент защитного действия составляет не более 0 в полосе частот 48,5-100 МГц, 0 в полосе частот 1,74-230 МГц, 8 дБ в полосе частот 470-620 МГц.

Сигнал, принятый антенной дециметрового диапазона, через емкость C1 поступает на базу транзистора VT1, выполненного по схеме с общим эмиттером. Усиленный сигнал с коллектора VT1 через C4, W2 поступает на вход второго усилительного каскада на транзисторе VT2. Формирование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) осуществ-

вляется элементами С1W1, С4W2 на входе и выходе VT1. Обратная связь по току в усилительных каскадах определяется элементами С5R4C6, С8R8C9. Усиленный сигнал через емкость С10 подается на выходной разъем SX2 и далее по фидеру поступает на блок питания. Через емкость С1 производится разделение телевизионного сигнала и напряжения питания (+12 В). Регулируют напряжение питания подстроечным резистором R1. Полосковые линии W1—W4 выполнены методом печатного монтажа.

Комнатная антенна с регулируемым усилением. К недостаткам комнатных антенн с усилителем следует отнести возможность появления резко выраженных повторных изображений (при неточной ориентировке), а также наложение на основное изображение сигнала другой, более мощной программы. При близком расположении от телецентра большое усиление антенны с усилителем приводит к срыву синхронизации и невозможности просмотра мощных телевизионных каналов. Поэтому при приеме различных ТВ-каналов приходится каждый раз выбирать положение антенны в комнате. Перечисленных недостатков можно избежать, используя комнатную антенну с регулируемым усилением.

Прием телевизионных каналов метрового диапазона волн происходит на одноштыревую либо двухштыревую (в зависимости от исполнения) телескопическую антенну, а дециметрового – на зигзагообразную антенну с параболическим рефлектором. Антенный усилитель и блок питания конструктивно расположены внутри корпуса подставки (рис. 7).

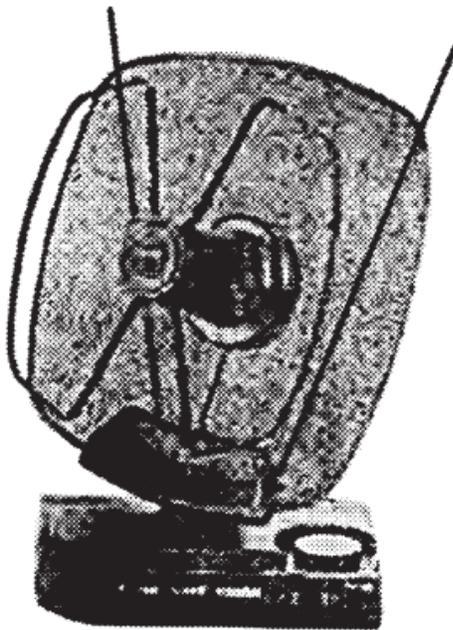


Рис. 7

Регулируемый усилитель функционирует следующим образом (рис. 8). Через устройство сложения сигналов (ФНЧ L1C3L2 и ФВЧ С1С2L3C4) телевизионный сигнал подается на транзистор VT1. С помощью регулятора R18, расположенного на корпусе антенны, изменяется напряжение питания транзистора VT1, что приводит к изменению его коэффициента усиления.

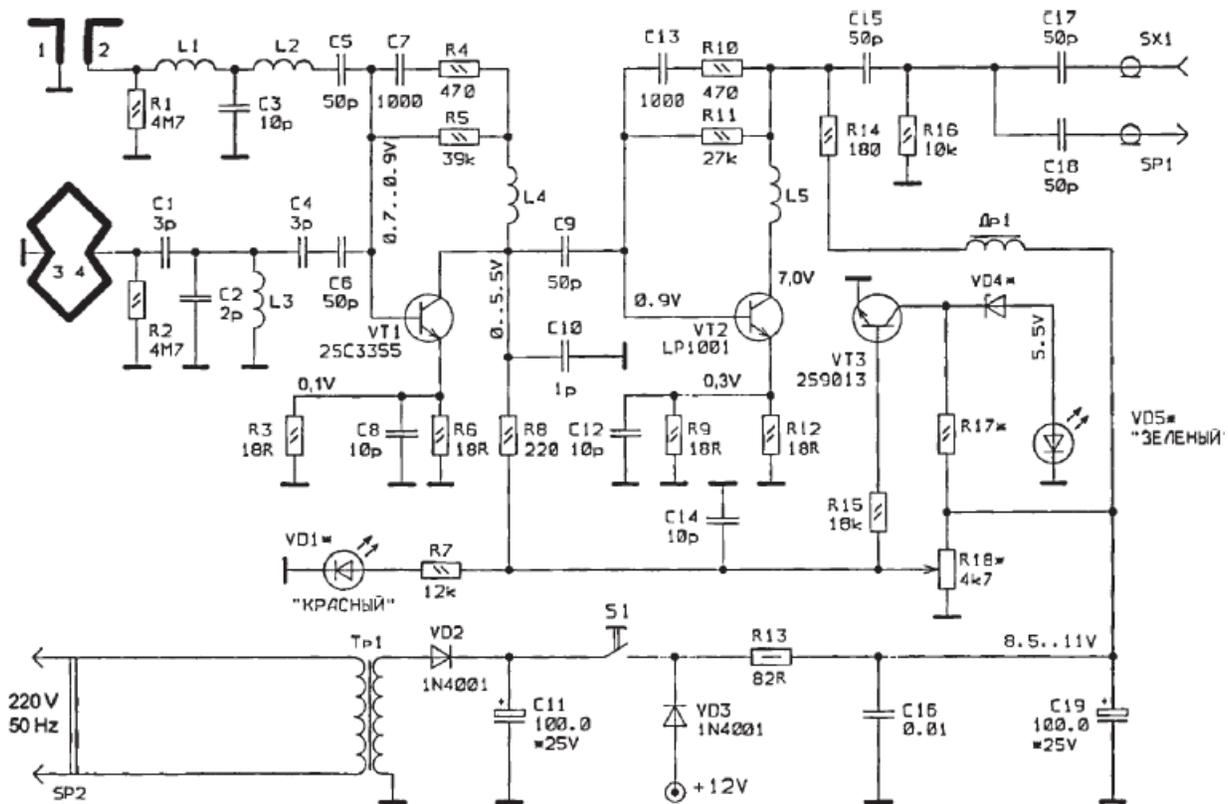


Рис. 8

Формирование АЧХ усилителя определяют элементы $C7R4L4C10$, $C13R10L5$ и элементы обратной связи по току $R3C8R6$, $R9C12R12$. Контроль регулировки усиления осуществляется с помощью двух светодиодов – зеленого и красного свечения: при загорании зеленого подается минимальное напряжение, что соответствует минимальному усилению, при загорании красного светодиода – максимальное напряжение (максимум усиления). Недостатком данной антенны является малый размер телескопической антенны (одноштыревое исполнение) и как следствие этого – неудовлетворительный прием на 1-5-метровых каналах. Лучшими параметрами для приема ТВ-каналов метрового диапазона обладают антенны с двухштыревой телескопической конструкцией.

Следует отметить, что применять рассмотренные выше конструкции антенн удобнее с телевизорами, имеющими объединенный вход для метрового и дециметрового диапазонов.

Активными антеннами обычно называют устройства, объединяющие собственно антенну и активные элементы усиления преобразования сигналов. Разделить активную антенну на пассивную и активную части невозможно, так как она выполняется в виде одного блока.

Активная антенна «DELTA». Разновидностью активных антенн является антенна «DELTA» (рис. 9). В комплекте антенны имеется подставка и мачтовое крепление, используемое для установки антенны вне помещений.

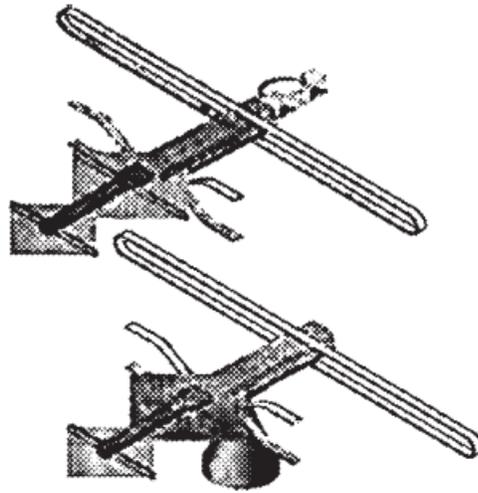


Рис. 9

Технические параметры антенны «DELTA»: каналы приема: 1–5...6-12...21–68; усиление (для разных каналов приема соответственно): 8...25...28 дБ; угол приема $2 \times 90^\circ \dots 2 \times 90^\circ \dots 60^\circ$; КЗД: 0...0...16 дБ.

Прием в метровом диапазоне волн осуществляется на петлевой вибратор, а дециметрового – на волновой X-образный вибратор (рис. 10). Согласование с фильтрами сложения осуществляется трансформаторами T1 и T2. Через устройство сложения сигналов (ФНЧ L1C1L2 и ФВЧ C2L3C3) телевизионный сигнал подается на двухкаскадный усилитель.

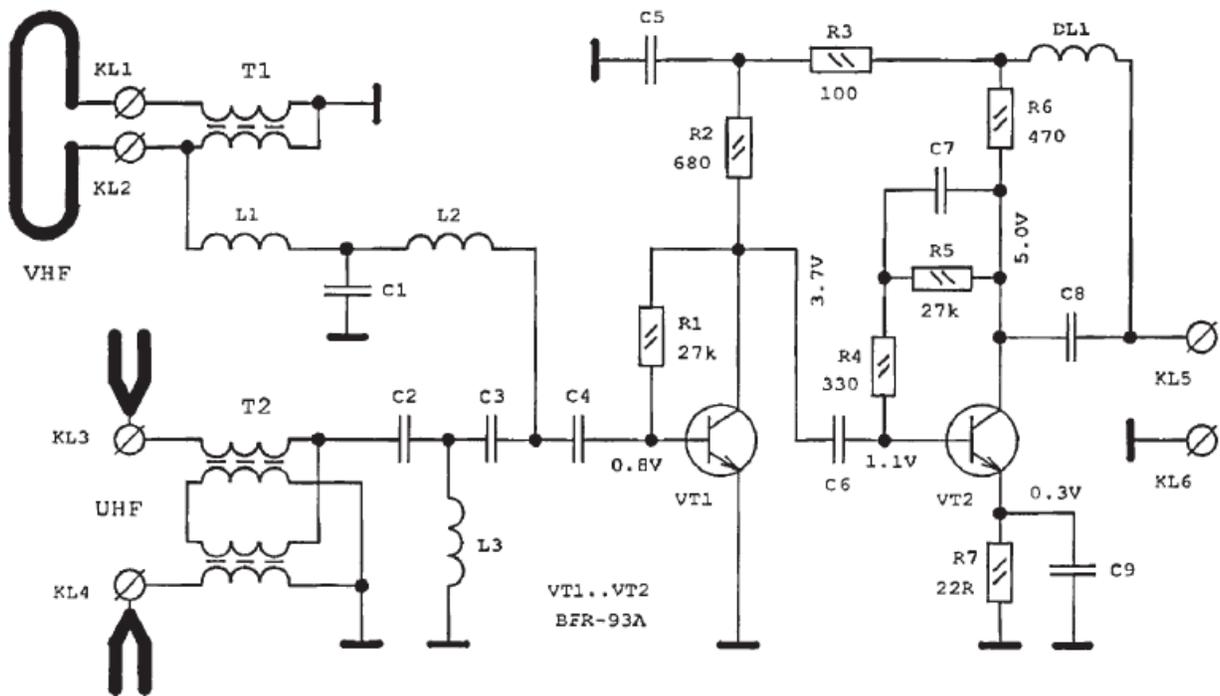


Рис. 10

Коррекция АЧХ во втором каскаде осуществляется элементами R4R5C7 и C9R7. Питание усилителя (+12V) поступает по антенному кабелю с отдельного блока питания. При использовании антенны с телевизором, имеющим одно общее входное гнездо, сигнал подают непосредственно на антенный вход, используя блок питания ZS-12. Для работы с телевизорами, не имеющими общего входа, необходимо подключить к выходу антенны разветвитель телевизионного сигнала.

Активные широкополосные антенны «DEXTA». Семейство антенн «DEXTA» имеет значительно меньшие геометрические размеры, чем пассивные антенны. Они имеют встроенный малозумящий усилитель телевизионных сигналов, соединенный непосредственно с активными вибраторами.

В комнатных вариантах антенн имеется подставка и отсутствует мачтовое крепление (рис. 11).

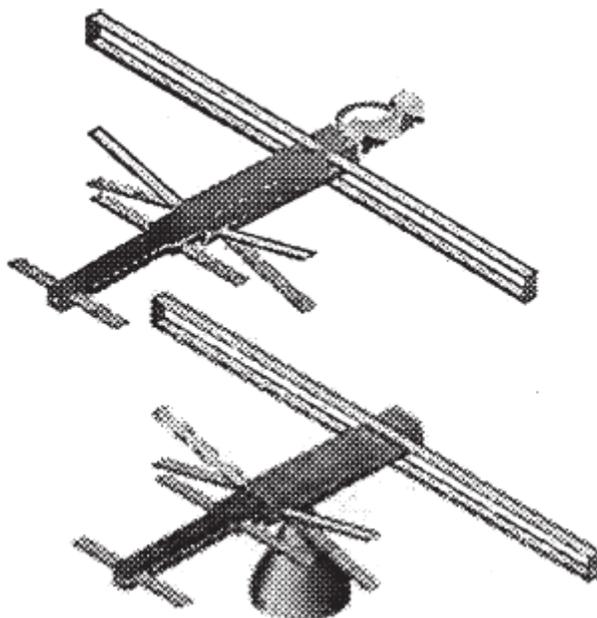


Рис. 11

Технические параметры «DEXTA»: каналы приема: 1–5...6–12...21–68; усиление (для разных каналов приема соответственно): 8...21...25 дБ; угол приема: 2x90°...2x90°...60°; КЗД: 0...0...16 дБ.

В версии антенны «Dexta Supernowa» (рис. 12) предусмотрена регулировка коэффициента усиления, что позволяет использовать ее в зонах с различным уровнем телевизионных сигналов.

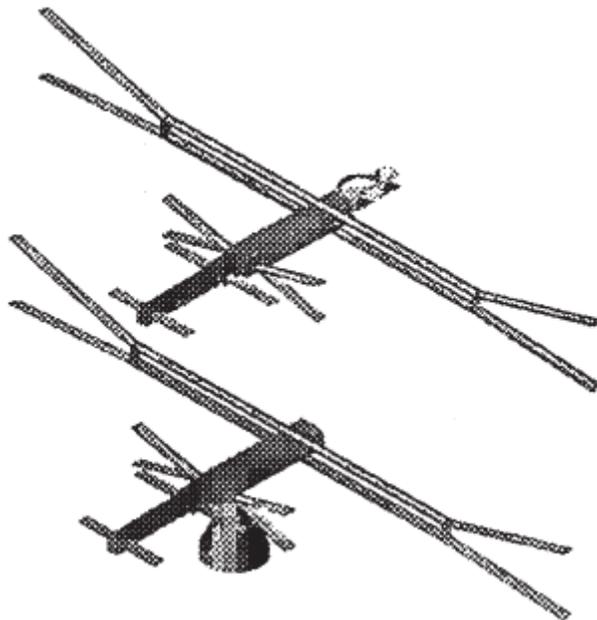


Рис. 12

Прием телевизионных каналов метрового диапазона волн осуществляется на петлевой вибратор (рис. 13), согласующее устройство которого выполнено на трансформаторе Т1. В ДМВ-диапазоне прием осуществляется на волновые V-образные вибраторы. Согласование с фильтром сложения осуществляется трансформатором Т2, выполненным методом печатного монтажа. Через фильтр сложения (ФНЧ L3C1L4C3L5 и ФВЧ C2W1C4W2C5) телевизионный сигнал подается на двухкаскадный усилитель. Коррекция АЧХ в первом каскаде осуществляется элементами R1L6R4C7, а во втором – R5L7C9R6 и R8C1W3C10R7C8R3. Полосковые линии W1...W3 выполнены также методом печатного монтажа. Питание усилителя (+12 В) поступает по антенному кабелю с отдельного блока питания (ZS-X2). При использовании антенны с телевизором, имеющим одно общее входное гнездо, сигнал подают непосредственно на антенный вход, используя блок питания ZS-X2. Для работы с телевизорами, не имеющими общего входа, необходимо подключить к выходу антенны разветвитель телевизионного сигнала. Если необходимо подать сигнал с одной антенны к двум телевизорам, необходимо использовать блок питания ZS-X3. Модернизация антенны «Dexta Nowa» за счет изменения конструкции вибратора метрового диапазона позволила получить устойчивый прием на 1–5 каналах. В антенне «Dexta Nowa» также предусмотрена регулировка коэффициента усиления, что позволяет ее использовать в зонах с различным уровнем телевизионных сигналов.

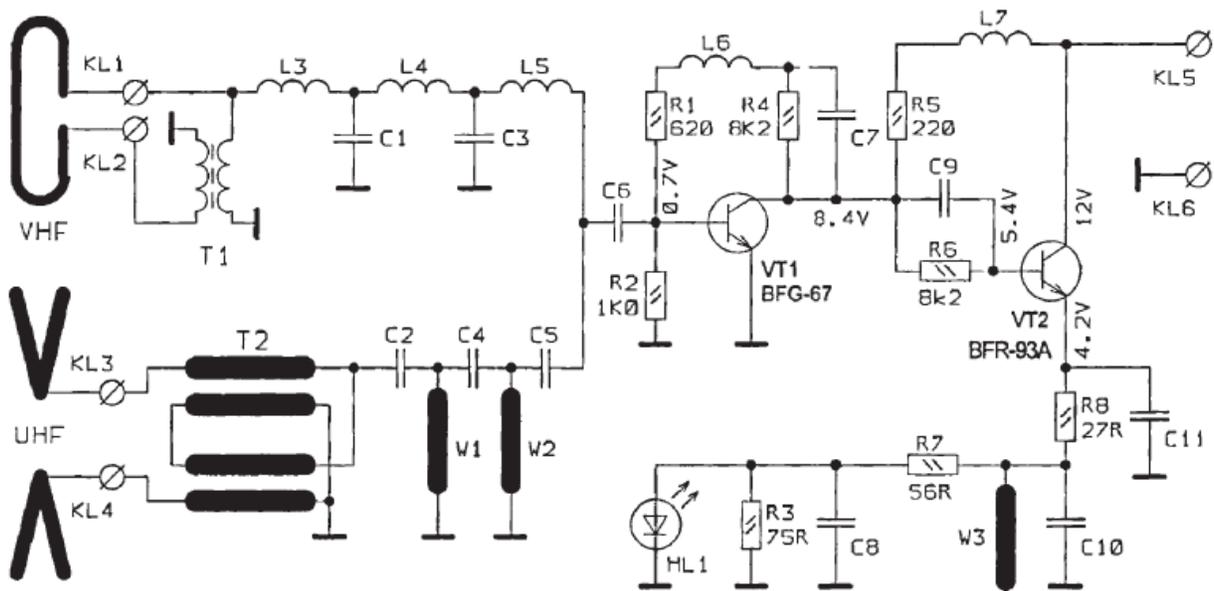


Рис. 13

Активная широкополосная антенна «Gamma Plus». Широкополосные активные антенны «Gamma Plus» (рис. 14) имеют встроенный малошумящий усилитель телевизионных сигналов, соединенный непосредственно с активными вибраторами. Предназначены для работы в условиях различных уровней сигналов и установки как внутри, так и вне помещений. Для этого в комплекте антенны имеется подставка и мачтовое крепление.

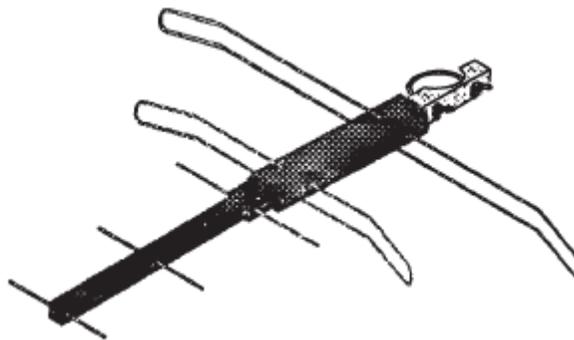


Рис. 14

Технические параметры антенны «Gamma Plus»: каналы приема: 1–5...6–12...21–60; усиление (для разных каналов приема соответственно): 5...24–26...33–35 дБ; угол приема: $2 \times 90^\circ \dots 2 \times 90^\circ \dots 60^\circ$; КЗД: 0...0...16 дБ.

Прием метрового и дециметрового диапазона волн осуществляется на петлевые вибраторы (рис. 15). Согласование вибраторов с фильтрами сложения осуществляется трансформаторами T1 и T2. Через устройство сложения сигналов (ФНЧ L1C1L2 и ФВЧ C2L3C3) телевизионный сигнал через емкость C4 подается на двухкаскадный усилитель, выполненный на малошумящих транзисторах VT1, VT2. АЧХ усилителя корректируют

элементы R4R5C9 и C10R6. Питание на усилитель (+12 В) поступает по антенному кабелю с отдельного блока питания.

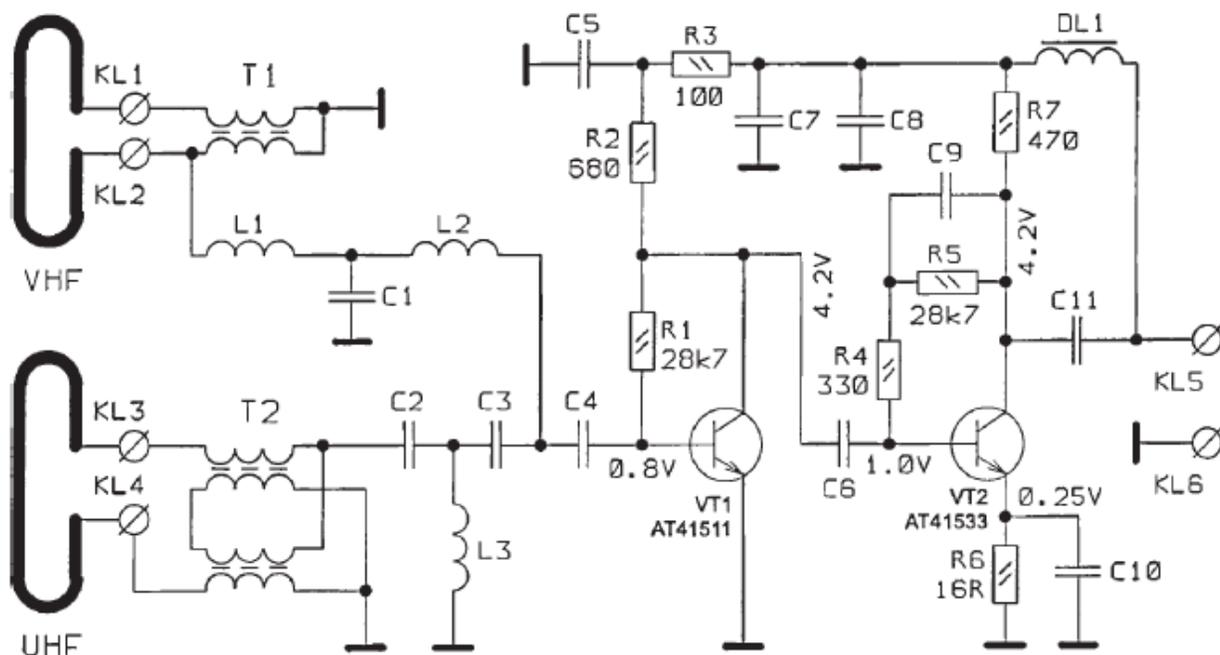


Рис. 15

В версии антенны «Gamma Plus Lux» применен телескопический перестраиваемый диполь МВ-диапазона, что позволяет производить подстройку на принимаемый канал в метровом диапазоне волн, а также изменять угол приема (диаграмму направленности).

Наружные телевизионные антенны

В случаях, когда невозможно осуществлять прием телевизионных сигналов с помощью комнатных или встроенных антенн, следует устанавливать наружную антенну. Наружные антенны имеют более сложную конструкцию по сравнению с комнатными аналогами и позволяют получить значительно больший коэффициент усиления антенны, что в сочетании с более высокой напряженностью поля, чем внутри здания, обеспечивает уверенный прием передач телецентра или телевизионного ретранслятора, расположенного на значительном удалении от пункта приема. Но и вблизи от передатчика наружная антенна с большим коэффициентом усиления, обладающая узкой диаграммой направленности, исключая повторы изображения за счет ослабления приема отраженных сигналов, обеспечивает высокое качество приема телевизионных передач.

Наружные антенны для ближнего приема

Зоной ближнего приема можно назвать такую территорию, где уверенный прием достигается с помощью простейших антенн со сравнительно небольшим коэффициентом усиления. В связи с тем что зона ближнего приема располагается внутри зоны прямой видимости, напряженность поля сигнала в пределах этой зоны в значительной мере за-

висит от мощности телевизионного передатчика. Поэтому радиус зоны ближнего приема на равнинной местности для мощного программного телецентра составляет примерно 50 км, для областных ретрансляторов – 30 км, а для маломощных местных ретрансляторов еще меньше: имеются ретрансляторы такой малой мощности, что для них зона ближнего приема ограничена расстоянием всего в несколько километров. Четко провести границу зоны ближнего приема, конечно, невозможно, так как она зависит и от мощности передатчика, и от номера канала, и от рельефа местности на трассе прохождения сигнала от передающей антенны к приемной, и от застройки населенного пункта, в котором необходимо осуществить прием. Все это не позволяет определить радиус зоны ближнего приема в конкретных условиях методом расчета. Поэтому в каждом конкретном случае необходимую антенну приходится выбирать опытным путем, начиная с простейшей и при отрицательном результате переходя к более сложной.

Простейшая приемная антенна – разрезной полуволновый вибратор (рис. 16). Такую антенну изготавливают в виде жесткой конструкции из металлической трубки.

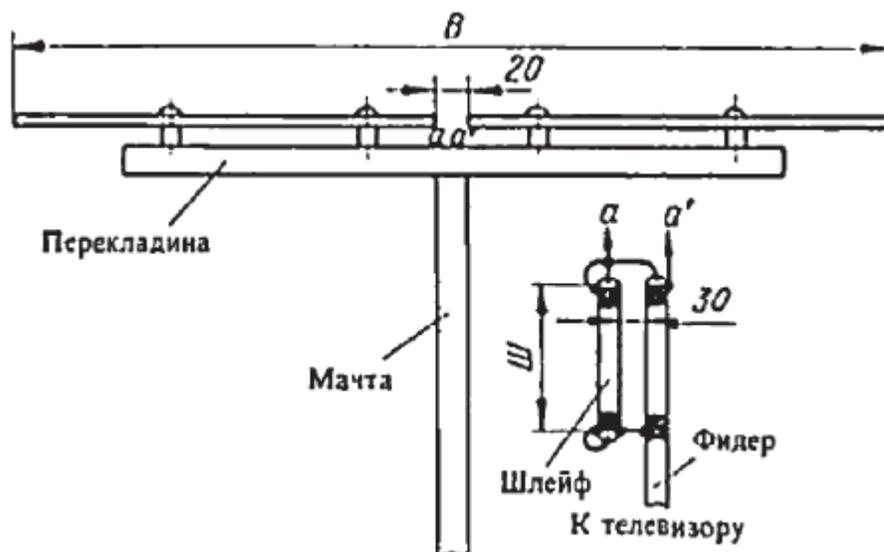


Рис. 16

Активная часть антенны – полуволновый вибратор – образована двумя металлическими трубками диаметром 15–20 мм. Плечи вибратора четырьмя длинными шурупами (или винтами с гайками) через изоляционные втулки из пластмассы или с помощью обычных роликов крепятся на горизонтальной перекладине, установленной на вершине металлической или деревянной мачты. Перекладина обязательно должна быть изготовлена из изоляционного материала. Можно использовать сухое дерево с покраской в несколько слоев масляной краской. Под головки шурупов или винтов подкладываются изоляционные шайбы, а отверстия в трубках вибратора делают диаметром, немного превышающим диаметр шурупов или винтов, с тем чтобы они не касались трубок. Концы трубок нужно сплющить или вложить внутрь заглушки из дерева, чтобы предотвратить попадание влаги, а также свист, возникающий при сильном ветре. В принципе, трубки вибратора могут быть выполнены из любого металла, однако предпочтительнее медь или латунь, к которым легко припаять симметрирующее устройство.

Симметрирующее устройство, показанное на рис. 16, выполняют в виде четверть-волнового симметрирующего шлейфа из того же кабеля, из которого выполнен фидер. Расстояние между фидером и шлейфом должно быть выдержано постоянным по всей длине шлейфа. С этой целью можно использовать гетинаксовые распорки. Фидер и шлейф должны подходить к концам вибратора снизу. Ниже шлейфа фидер можно изгибать в нужную сторону и крепить к мачте любым способом, но в пределах шлейфа изгибы нежелательны. Если используется металлическая мачта, она не должна оказаться в пространстве между шлейфом и фидером. Коэффициент усиления разрезного полуволнового вибратора равен 0 дБ, диаграмма направленности имеет вид восьмерки в горизонтальной плоскости (то есть вибратор принимает сигнал одинаково и спереди и сзади) и форму окружности в вертикальной плоскости (то есть вибратор принимает сигнал одинаково с любых углов места).

Немного сложнее антенна – петлевой полуволновый вибратор или, как его еще называют, шлейф-вибратор Пистолькорса (рис. 17), обладающий некоторыми преимуществами перед разрезными, хотя его коэффициент усиления также равен 0 дБ.

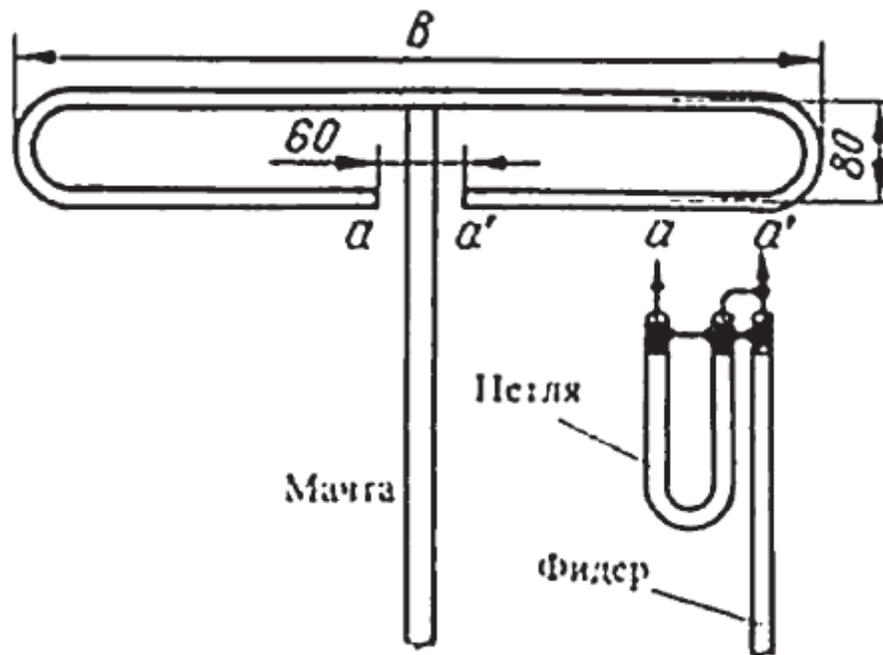


Рис. 17

Оба плеча этого вибратора выполнены в виде коротко замкнутых шлейфов, длина каждого из которых приблизительно равна $1/4$ длины волны. Середина верхней неразрезанной части вибратора является точкой нулевого потенциала, что позволяет в этой точке крепить вибратор к металлической мачте без изоляции.

Петлевой вибратор выполняют из тех же материалов, что и разрезной. Радиус закругления концов петлевого вибратора не имеет значения. В точках питания концы трубок могут быть расплющены. Коэффициент укорочения полуволнового петлевого вибратора значительно меньше зависит от диаметра трубки, чем коэффициент укорочения разрезного вибратора. Поэтому длина петлевого вибратора, выполненного из трубок

диаметром 10–20 мм, практически остается неизменной. Механическое соединение петлевого вибратора с мачтой можно выполнять любым способом: сваркой, заклепочным или винтовым соединением без изоляции.

Входное сопротивление петлевого вибратора составляет 292 Ом, но обычно приближенно его считают равным 300 Ом. Некоторые из первых отечественных телевизионных приемников имели симметричный антенный вход с входным сопротивлением также 300 Ом, и с такими телевизорами петлевой вибратор мог соединяться симметричным высокочастотным кабелем КАТВ с волновым сопротивлением 300 Ом. Для подключения к петлевому вибратору 75-омного коаксиального кабеля необходимо симметрирующе-согласующее устройство в виде полуволновой петли, которое также показано на рис. 17. Полуволновая петля уменьшает входное сопротивление антенны в 4 раза, ее выполняют из кабеля любой марки.

Если разрезной вибратор узкополосный и может принимать сигналы только того канала, на который рассчитана его длина, то петлевой вибратор имеет более широкую полосу пропускания. Поэтому он может удовлетворительно принимать сигналы по двум-трем каналам, соседним по частоте. При этом необходимо иметь в виду, что второй и третий, пятый и шестой каналы не являются соседними по частоте, между ними значительный частотный интервал.

Вместо четвертьволнового короткозамкнутого шлейфа симметрирование полуволнового разрезного вибратора можно осуществить с помощью устройства на ферритовом кольце. Симметрирование и согласование с фидером петлевого вибратора можно также выполнить без полуволновой петли с помощью аналогичного устройства на ферритовом кольце. Такое симметрирование и согласование более компактно. Однако во втором случае сложнее герметизация, необходимая для наружной антенны во избежание попадания влаги. В то же время шлейф или петля в герметизации не нуждаются.

Обе рассмотренные антенны (полуволновые разрезной и петлевой вибраторы) ориентируются по направлению на передатчик так, чтобы они располагались в плоскости, перпендикулярной этому направлению. Однако ориентирование должно контролироваться по изображению на экране телевизора, которое должно иметь максимальную четкость по горизонтали и устойчивую синхронизацию, контрастность же картинки не обязательно должна получаться максимальной. Лучше всего ориентировать антенну при приеме телевизионной испытательной таблицы.

Простейшие антенны в диапазоне дециметровых волн обычно не применяют, так как в этом диапазоне требуется получить от антенны ощутимое усиление из-за меньшей напряженности поля.

Если полуволновый вибратор оказывается недостаточно эффективным в данных конкретных условиях, антенна может быть усложнена добавлением еще одного элемента – рефлектора, который значительно ослабляет прием с заднего направления и усиливает с главного. Для этого рефлектор выполняют немного длиннее вибратора и располагают сзади него на некотором расстоянии. Такая двухэлементная антенна носит название «волновой канал». Благодаря рефлектору задний лепесток диаграммы направленности значительно уменьшается, а главный лепесток увеличивается и сужается. Поэтому коэффициент усиления антенны становится больше, чем у полуволнового вибратора. Еще больший коэффициент усиления может быть достигнут установкой дополнительных элементов впереди вибратора, которые называются директорами.

Антенна «волновой канал». На данный момент антенны типа «волновой канал» получили широкое распространение в различных профессиональных устройствах радиосвязи и радиолокации. Большинство телевизионных коллективных и индивидуальных антенн промышленного изготовления также являются антеннами типа «волновой канал». Это связано с тем, что такие антенны достаточно компактны и обеспечивают получение большого коэффициента усиления при сравнительно небольших габаритах. Иногда антенну «волновой канал», особенно в зарубежной литературе, называют антенной Уда – Яги по именам впервые описавших ее японских изобретателей.

Антенна «волновой канал» представляет собой набор элементов: активного – вибратора и пассивных – рефлектора и нескольких директоров, установленных на одной общей стреле.

В настоящее время разработано большое количество разных антенн типа «волновой канал», отличаю – щихся одна от другой числом директоров и расстоянием между ними.

Принцип действия антенны состоит в следующем. Вибратор определенной длины, находящийся в электромагнитном поле сигнала, резонирует на частоте сигнала, и в нем наводится ЭДС. В каждом из пассивных элементов также наводится ЭДС, и они переизлучают вторичные электромагнитные поля. Эти вторичные поля, в свою очередь, наводят дополнительные ЭДС в вибраторе. Размеры пассивных элементов и их расстояния от вибратора должны быть выбраны такими, чтобы дополнительные ЭДС, наведенные в вибраторе вторичными полями, были в фазе с основной ЭДС, наведенной в нем первичным полем. Тогда все ЭДС будут складываться арифметически, обеспечив повышение эффективности антенны по сравнению с одиночным вибратором. Для этого рефлектор делается немного длиннее вибратора, а директоры – короче.

Симметричное расположение элементов антенны относительно направления на передатчик создает условия для сложения наведенных ЭДС в вибраторе только для сигнала, приходящего с главного направления. Сигналы, приходящие под углом к главному направлению, создают в вибраторе ЭДС, сдвинутые по фазе относительно основного, и поэтому складываются алгебраически так, как складываются векторы. Их векторная сумма получается меньше арифметической. Сигнал же, приходящий с заднего направления, создает в вибраторе наведенные ЭДС, противофазные основной, и они вычитаются. Таким образом, обеспечивается направленное свойство антенны, формируется узкая диаграмма ее направленности, что соответствует увеличению коэффициента усиления.

Элементы антенн «волновой канал», которые будут рассмотрены ниже, расположены в пространстве горизонтально, и такие антенны используют для приема сигналов с горизонтальной поляризацией, когда вектор напряженности электрического поля E также горизонтален. Для приема сигналов с вертикальной поляризацией антенна должна быть повернута на 90° так, чтобы ее элементы стали вертикальными.

В связи с тем, что элементы антенны расположены в разных точках пространства, фазы наведенных в них первичным полем ЭДС будут зависеть от координат каждого элемента и их размеров, так как от длины элемента зависит его резонансная частота, а фаза наведенной ЭДС зависит от настройки элемента. Нужно также учесть, что телевизионный сигнал занимает сравнительно широкую полосу частотного спектра и свойства антенны должны быть хотя бы примерно одинаковыми для всей полосы частот принятого сигнала. Наконец, для хорошего согласования антенны с фидером ее входное сопротивление должно иметь чисто активный характер. Отсюда становится ясно, насколько

сложно проектирование антенн типа «волновой канал», особенно при большом количестве элементов антенны.

В настоящее время разработано множество вариантов таких антенн с разным числом директоров различных размеров и с различным расстоянием между ними. Процесс проектирования многоэлементной антенны типа «волновой канал» вообще неоднозначен. Перед проектировщиком могут быть поставлены разные задачи: добиться либо максимального коэффициента усиления антенны, либо максимального коэффициента защитного действия, либо наименьшей неравномерности коэффициента усиления в полосе принимаемых частот, либо минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности, или же обеспечить другие факторы. Кроме того, в процессе проектирования некоторые размеры антенны приходится задавать, а остальные получать в результате расчета. Этим объясняется то, что в разных источниках литературы приводятся различные размеры элементов антенн при одинаковом их числе. К сожалению, в литературе при описаниях антенн отсутствуют сведения о том, какие исходные данные были положены в основу проектирования данной конкретной антенны. Следует также учесть, что большинство вариантов многоэлементных антенн типа «волновой канал» подобрано экспериментальным путем, что сильно осложняет возможности повторяемости таких конструкций.

Многоэлементная антенна типа «волновой канал» по принципу работы аналогична многоконтурному полосовому фильтру и нуждается в тщательной настройке элементов. Известно, что многоконтурный фильтр, как бы точно ни были подобраны индуктивности его катушек и емкости конденсаторов, подлежит обязательной настройке по приборам в связи с тем, что невозможно заранее учесть разбросы различных паразитных параметров, таких как емкости монтажа и индуктивности рассеяния, активные сопротивления катушек на высокой частоте и сопротивления потерь конденсаторов, индуктивности и сопротивления соединительных проводников. Аналогично и при изготовлении многоэлементной антенны типа «волновой канал»: даже точное соблюдение всех ее размеров не избавляет от необходимости выполнения тщательной настройки по приборам, поскольку невозможно учесть разбросы в ее конструкции, такие как непараллельность элементов в горизонтальной плоскости, скручивание несущей стрелы, неизбежное под нагрузкой из-за того, что всегда имеется неоднородная по длине трубы эллиптичность ее сечения, а скручивание стрелы приводит к тому, что элементы антенны уже не находятся в одной плоскости. Определенное влияние на работу антенны, которое невозможно учесть, оказывают находящиеся поблизости местные предметы – металлические и немагнитные. Наконец, невозможно абсолютно точно выдержать все размеры, всегда будут отклонения в пределах допусков, а при изменениях окружающей температуры эти отклонения увеличиваются.

Антенну следует настраивать изменением длины каждого элемента и расстояний между ними при контроле формы диаграммы направленности, значения и характера входного сопротивления антенны. Настройка требует специальных полигонных условий, исключающих влияние местных предметов, и специальных приборов – генератора метрового или дециметрового диапазона волн достаточно большой мощности, индикатора напряженности поля, измерителя полных сопротивлений антенн. Не всегда в процессе настройки удается одновременно добиться того, чтобы входное сопротивление антенны было чисто активным и имело нужное значение.

Приходится мириться с полученным значением входного сопротивления антенны при его чисто активном характере. Но при этом, кроме настройки антенны, приходится также дополнительно осуществлять настройку ее согласования с фидером. Многоэлементные антенны типа «волновой канал», используемые в профессиональной аппаратуре, подлежат обязательной индивидуальной настройке на заводе, а в состав аппаратуры входит устройство, позволяющее корректировать согласование антенны с фидером в процессе эксплуатации.

Радиолюбители, занимающиеся постройкой многоэлементных антенн типа «волновой канал», конечно, не имеют возможности выполнить даже приблизительную настройку антенны, а большинство из них полагает, что антенна, изготовленная точно по чертежам, должна обеспечивать нормальную работу. К сожалению, на практике дело обстоит совсем не так. Чем больше элементов содержит антенна, тем сложнее ее настройка и, с другой стороны, тем хуже оказываются фактические характеристики ненастроенной антенны. В первую очередь при расстройке антенны страдает ее диаграмма направленности. Она становится асимметричной, максимум ее главного лепестка отклоняется от оси антенны, расширяются боковые и задний лепестки. В связи с тем, что ухудшается соотношение между площадью главного лепестка и площадью остальных лепестков, падает коэффициент усиления антенны. Входное сопротивление антенны приобретает значительную реактивную составляющую, а его активная составляющая сильно отличается от номинального значения, которое она должна иметь по паспорту. В результате сильно нарушается согласование антенны с фидером. Это приводит к тому, что значительная часть энергии сигнала, принятого антенной, отражается от фидера и излучается обратно в пространство, не поступая на вход телевизионного приемника. Таким образом, резко ухудшаются все без исключения характеристики антенны, подобно тому как радиоприемник с расстроенными контурами не обладает ни нужной чувствительностью, ни нужной избирательностью. Порой такой приемник вообще не способен принимать радиосигналы. Всем этим объясняются частые разочарования радиолюбителей, которые, построив и установив сложную многоэлементную антенну типа «волновой канал», сталкиваются с тем, что не получают ожидаемых результатов.

Практика показывает, что антенна типа «волновой канал» не нуждается в настройке и обеспечивает получение паспортных характеристик, если она содержит не более трех элементов: вибратор, рефлектор и только один директор. Коэффициент усиления такой антенны составляет 6 дБ, чего вполне достаточно для ее использования в зоне ближнего приема. Если же такого коэффициента усиления окажется недостаточно, радиолюбителям не рекомендуется заниматься постройкой многоэлементных антенн типа «волновой канал» – лучше отдать предпочтение антеннам других типов, которые могут обеспечить получение больших коэффициентов усиления и не нуждаются в настройке.

Следует отметить еще один неприятный аспект, связанный с использованием многоэлементных антенн типа «волновой канал». Обычно эти антенны содержат петлевой вибратор Пистолькорса. Сам петлевой вибратор имеет входное сопротивление около 300 Ом и хорошо согласуется с фидером из коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом путем применения полуволновой петли. Петля уменьшает входное сопротивление в 4 раза, с 300 до 75 Ом, и обеспечивает симметрирование. При добавлении к петлевому вибратору пассивных элементов входное сопротивление антенны в значительной мере уменьшается. Так, входное сопротивление пятиэлементной антенны в зависимости от ее размеров может находиться в пределах 40-120 Ом. Будучи дополнительно умень-

шенным в 4 раза полуволновой петлей, оно падает до 10–30 Ом, что приводит к резкому рассогласованию антенны с фидером. За счет отражения значительной части энергии принятого сигнала и ее излучения обратно в пространство значительно уменьшается коэффициент усиления антенны. В условиях высокого уровня напряженности поля на небольшом расстоянии от передатчика такая потеря усиления антенной не опасна: главной задачей остается защита от помех за счет узкой диаграммы направленности. Однако если многоэлементную антенну устанавливали из-за того, что более простая антенна оказалась недостаточно эффективной, такое решение оказывается ошибочным. Дело осложняется тем, что в литературе при описании многоэлементных антенн типа «волновой канал» не указываются значения их входного сопротивления, так как оно очень сильно зависит от настройки антенны. Измерить же входное сопротивление антенны в любительских условиях достаточно трудно, а не зная его, невозможно правильно выбрать схему согласующего устройства.

Двухэлементные антенны типа «волновой канал» применяют редко, так как их характеристики ненамного лучше характеристик одиночного вибратора. Поэтому рассмотрим трехэлементную антенну, которая показана на рис. 18.

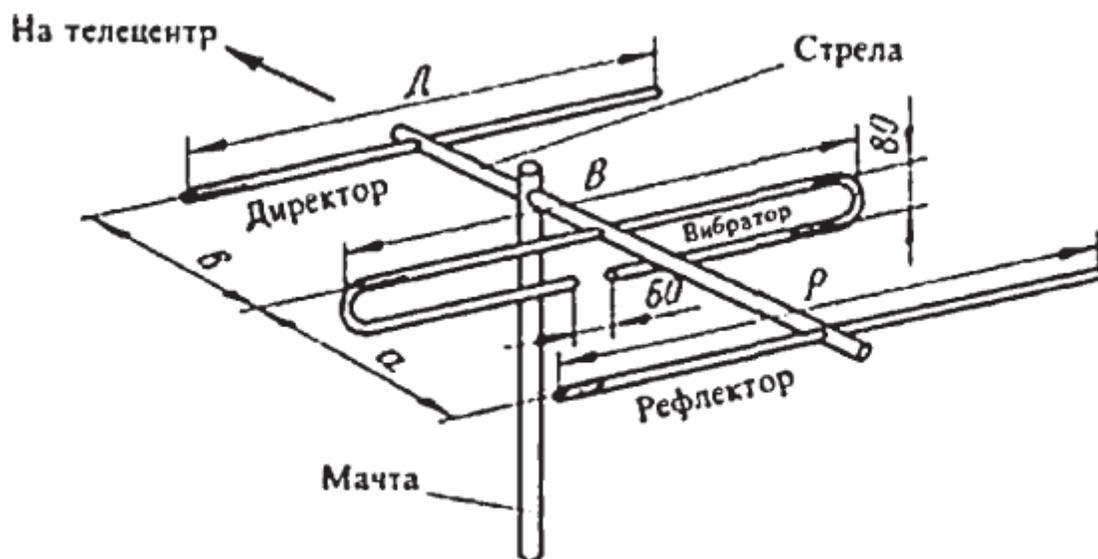


Рис. 18

Элементы антенны выполнены из металлической трубки диаметром 12–20 мм. Мачта и стрела могут быть металлическими. При этом элементы антенны должны быть надежно электрически соединены со стрелой с помощью пайки или сварки. Если стрела выполняется из изоляционного материала, специально соединять между собой элементы антенны не нужно. Расположение элементов антенны соответствует горизонтальной поляризации сигнала. Если необходимо принимать сигнал с вертикальной поляризацией, антенна поворачивается так, чтобы ее элементы заняли вертикальное положение. Однако при этом верхняя часть мачты длиной, примерно равной длине рефлектора, должна быть выполнена из изоляционного материала. Подключение фидера производится с помощью полуволновой петли. Входное сопротивление антенны рекомендуемых размеров составляет примерно 150 Ом, поэтому имеется рассогласование антенны с фидером. Од-

нако в условиях ближнего приема более важным является тот факт, что суженная по сравнению с одиночным вибратором диаграмма направленности ослабляет прием помех с других направлений и отраженных сигналов.

Коэффициент усиления трехэлементной антенны типа «волновой канал» указанных размеров составляет 5,1–5,6 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала на выходе антенны в 1,8–1,9 раз по сравнению с одиночным полуволновым вибратором. Угол раствора главного лепестка диаграммы направленности по половинной мощности составляет 70° . Трехэлементная антенна, установленная на мачте высотой 15–20 м, при равнинной местности может обеспечить нормальный прием телевизионных передач на расстоянии до 60 км от передатчика мощностью 5 кВт при высоте передающей антенны 200 м.

На рис. 19 представлена пятиэлементная антенна типа «волновой канал». От трехэлементной антенны она отличается двумя дополнительными директорами и размерами элементов. В связи с пониженным входным сопротивлением антенны, которое из-за неизбежной расстройки даже приблизительно указать невозможно, фидер к антенне следует подключать с помощью четвертьволнового короткозамкнутого шлейфа.

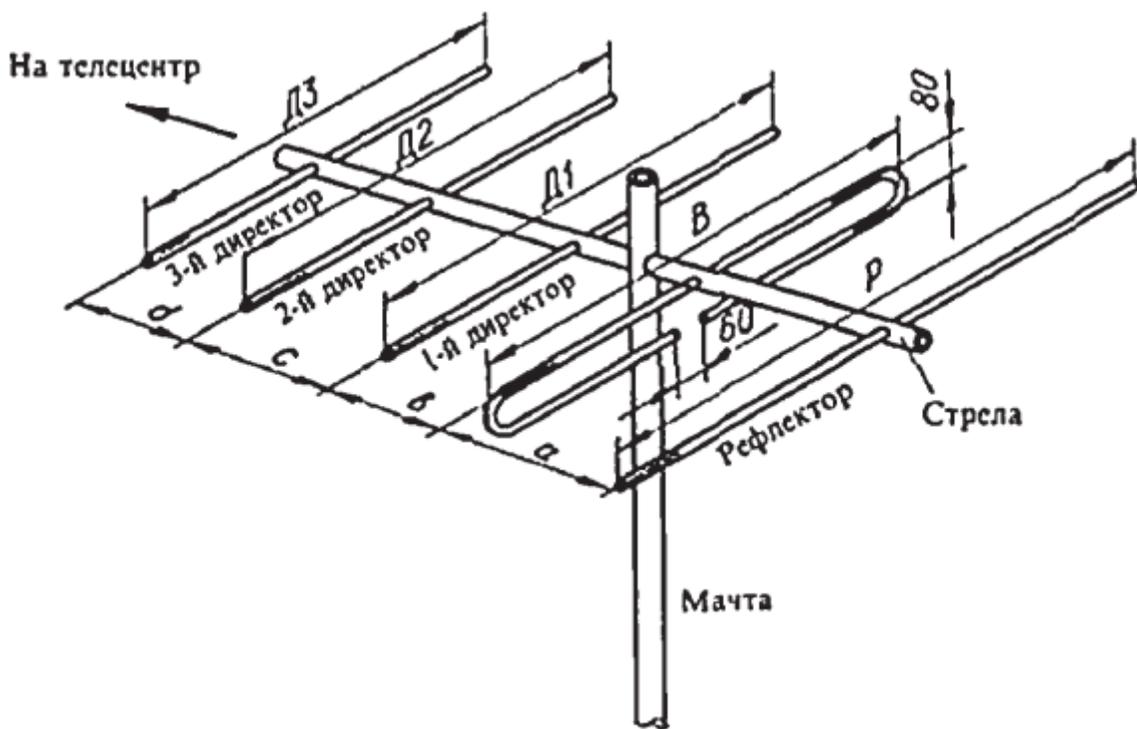


Рис. 19

Коэффициент усиления пятиэлементной антенны при условии ее точной настройки для указанных размеров составляет примерно 8,6–8,9 дБ, что соответствует увеличению сигнала на выходе антенны в 2,7–2,8 раз по сравнению с одиночным полуволновым вибратором. Угол раствора диаграммы направленности по половинной мощности составляет 50° . Если антенна не настраивалась, ее параметры могут оказаться хуже, чем у трехэлементной антенны.

Помимо пятиэлементных разработаны и в некоторых литературных источниках публикуются размеры семиэлементных, одиннадцатиэлементных антенн типа «волновой канал», а также имеющих еще большее число элементов. Такие антенны здесь не рассматриваются по следующим причинам. Как уже отмечалось, без тщательной настройки такие антенны, даже выполненные точно по чертежам, обладают плохими характеристиками. Кроме того, с увеличением числа элементов сужается полоса пропускания антенны. Так, полоса пропускания семиэлементной антенны типа «волновой канал» составляет примерно 5 % частоты, на которую она настроена. Поэтому при приеме сигнала по первому частотному каналу (средняя частота 52,9 МГц) полоса пропускания антенны составит всего 2,65 МГц, то есть значительно меньше полосы частот, занимаемой спектром телевизионного сигнала, которая примерно равна 7 МГц. Даже на пятом канале полоса пропускания этой антенны оказывается недостаточной. А если в диапазоне 6-12-го каналов или в дециметровом диапазоне полоса пропускания многоэлементной антенны оказывается достаточно широкой, из-за неизбежной расстройки такие самодельные антенны считаются бесперспективными. Наконец, в условиях ближнего приема нет никакой необходимости в установке таких сложных антенн.

Что касается дальней части зоны прямой видимости или зоны полутени, то там необходимо использовать антенны с повышенным или большим коэффициентом усиления, который расстроенная антенна обеспечить не может, и для получения такого коэффициента усиления приходится использовать синфазное соединение нескольких сравнительно простых антенн, которые не нуждаются в настройке и хорошо согласуются с фидером.

Рамочные антенны. И в качестве наружных, и в качестве комнатных используют рамочные антенны – двух- и трехэлементные. Хотя они конструктивно сложнее двух- и трехэлементных антенн типа «волновой канал», но обладают большим коэффициентом усиления даже по сравнению с пятиэлементными антеннами и лишены их недостатков. Рамочные антенны хорошо согласуются с фидером, поэтому их рекомендуют использовать в тех случаях, когда антенна «волновой канал» не дает достаточно хороших результатов. Рамочные антенны получили широкое распространение также в условиях дальнего приема телевидения за границей зоны прямой видимости, для чего несколько таких антенн соединяются в синфазную систему. Это приводит к дальнейшему увеличению коэффициента усиления, что и позволяет уверенно принимать такие слабые сигналы, поймать которые другими антеннами оказывается практически невозможно.

Узкополосные антенны по сравнению с широкополосными обладают таким дополнительным преимуществом, как частотная избирательность. Благодаря этому на вход телевизионного приемника не могут проникнуть помехи от других телевизионных передатчиков, работающих на соседних по частоте каналах, если по каким-либо причинам возникли благоприятные условия распространения их сигналов в данном направлении. Особенно важна частотная избирательность антенны в условиях слабого сигнала. Дело в том, что нередко случаи, когда необходимо обеспечить прием слабого сигнала от удаленного передатчика, но поблизости работает мощный передатчик другой программы на соседнем канале. В таких условиях частотной избирательности телевизионного приемника может не хватить. Кроме того, как известно, интенсивная помеха, поступающая на первый же нелинейный элемент схемы приемника (электронную лампу, транзистор или микросхему), приводит к перекрестной модуляции сигнала этой помехой. В последующих каскадах избавиться от этой помехи в приемнике уже невозможно. Поэтому ослаб-

ление такой помехи за счет частотной избирательности антенны имеет очень важное значение.

Наибольшее распространение получили двухэлементные рамочные антенны, хотя иногда используют также и трехэлементные рамочные антенны. Впервые предложил использовать эти антенны для приема телевидения советский энтузиаст дальнего приема С. К. Сотников. Его первая статья с описанием двухэлементных рамочных антенн была помещена в журнале «Радио», 1959 г., № 4, с. 31–32. Многочисленные эксперименты радиолюбителей подтвердили их эффективность. Антенны с числом рамок более трех не используют по тем же самым причинам, по которым нецелесообразно применение многоэлементных антенн типа «волновой канал»: необходимость тщательной настройки, без которой параметры антенны от увеличения числа элементов не улучшаются.

Двухэлементная рамочная антенна показана на рис. 20. Рамки антенны имеют квадратную форму, а по углам могут быть закругления произвольного радиуса, не превышающего примерно $1/10$ стороны квадрата. Рамки выполняют из металлической трубки диаметром 10–20 мм для антенн 1-5-го каналов или 8–15 мм для антенн 6-12-го каналов. Как и при изготовлении других антенн, металл может быть любым, но предпочтительнее медь или латунь. Верхняя стрела соединяет середины обеих рамок, а нижняя изолирована от вибраторной рамки и крепится к пластине, изготовленной из гетинакса, текстолита или оргстекла толщиной 6–8 мм и размерами 30x60 мм. К этой же пластине крепятся концы вибраторной рамки винтами с гайками, для чего концы рамки можно расплющить. Стрелы могут быть выполнены металлическими или из изоляционного материала – текстолита или винипласта. В этом случае специально соединять рамки между собой нет необходимости. Мачта должна быть деревянной, по крайней мере ее верхняя часть. Металлическая часть мачты должна заканчиваться на 1,5 м ниже антенны. Рамки антенны располагают одна относительно другой так, чтобы их воображаемые центры (точки пересечения диагоналей квадратов) находились на горизонтальной прямой, направленной на передатчик. Крепление антенны к мачте производится в центре тяжести.

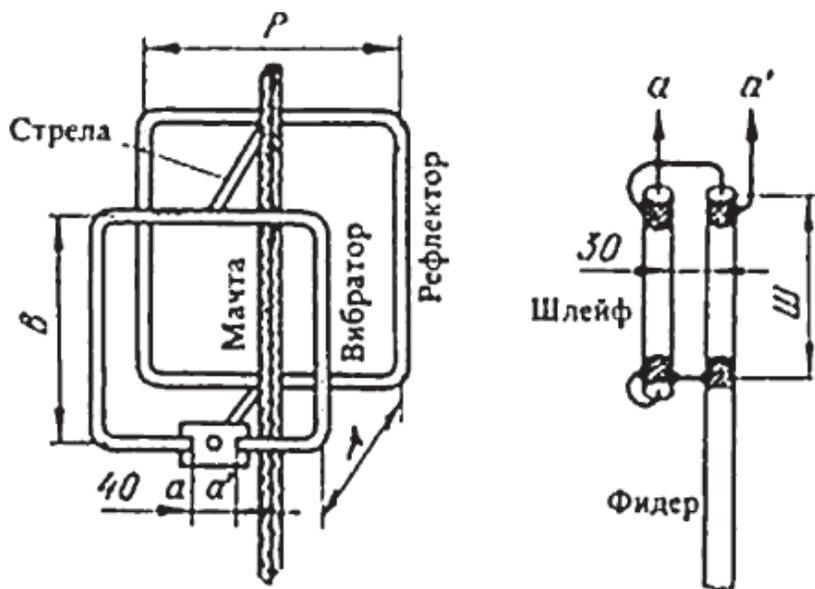


Рис. 20

Фидер подключается к концам вибраторной рамки с помощью четвертьволнового короткозамкнутого симметрирующего шлейфа из того же кабеля, что и фидер. Шлейф и фидер должны подходить к антенне вертикально снизу, расстояние между ними должно быть постоянным по всей длине шлейфа, для чего можно предусмотреть распорки из гетинакса. Можно также закрепить фидер и шлейф на изоляционной пластине, к которой крепятся нижняя стрела и концы вибраторной рамки, изготовив ее в виде буквы Т. При этом в пластине сверлят небольшие отверстия, а фидер и шлейф привязывают к ней капроновой леской. Использовать металлические элементы для их крепления нежелательно.

Для обеспечения жесткости можно выполнить шлейф из двух металлических трубок, соединенных верхними концами с концами вибраторной рамки. В этом случае фидер пропускают внутри правой трубки снизу вверх, оплетку кабеля припаивают к правому, а центральную жилу – к левому концам вибраторной рамки. Трубки шлейфа в нижней части замыкаются перемычкой, перемещением которой можно подстроить антенну на максимум принимаемого сигнала.

По данным С. К. Сотникова, коэффициент усиления двухэлементной рамочной антенны, выполненной по рекомендованным им размерам, составляет 8–9 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала в 2,5–2,8 раза по сравнению с напряжением сигнала на выходе полуволнового вибратора. Входное сопротивление этой антенны находится в пределах 70–80 Ом.

Исходя из приведенных значений коэффициента усиления, можно сделать вывод о том, что по усилению двухэлементная рамочная антенна эквивалентна пятиэлементной антенне типа «волновой канал» или немного эффективнее ее, но имеет меньшие габариты и лишена ее недостатков, так как не нуждается в настройке, хорошо согласуется с фидером и обладает хорошей повторяемостью параметров. Это объясняется тем, что активной приемной частью каждой рамки являются ее верхняя и нижняя горизонтальные части. Получается, что двухэлементная рамочная антенна содержит четыре элемента и эквивалентна двухэтажной синфазной решетке, собранной из двухэлементных антенн типа «волновой канал». Влияние дополнительных двух элементов второго этажа оказывается сильнее, чем добавление двух директоров к двухэлементной антенне типа «волновой канал», за счет сужения диаграммы направленности в вертикальной плоскости, а это очень важно в условиях дальнего приема, когда сигнал приходит с линии горизонта под малым углом места. Наличие же всего двух элементов, взаимодействующих в каждом этаже, обеспечивает стабильность параметров антенны и их независимость от естественных разбросов в размерах. Благодаря этому отпадает необходимость в индивидуальной настройке каждой антенны и обеспечивается хорошее согласование ее с фидером.

В качестве наружной антенны можно также использовать трехэлементную рамочную антенну. Отличие наружной антенны от комнатной лишь в том, что ее рамки для большей прочности должны быть выполнены из металлической трубки или прутка диаметром 6–10 мм, а стрелы и пластина изолятора – более толстыми. Трехэлементную рамочную антенну можно использовать в диапазонах метровых и дециметровых волн.

Двухэлементную антенну можно использовать на расстоянии до передатчика, примерно равном 70 % расстояния прямой видимости, а трехэлементную – вплоть до границы прямой видимости – конечно, при достаточной мощности передатчика. Если же принимается сигнал от передатчика малой мощности и даже в ближней части зоны прямой

видимости, полуволновый вибратор или трехэлементная антенна типа «волновой канал» не обеспечивает хорошего приема, двухэлементная рамочная антенна (а тем более трехэлементная рамочная антенна) позволяет достичь увеличения уровня сигнала на входе телевизора. Иногда либо из-за удаленности от передатчика, либо из-за недостаточной мощности этого передатчика контрастность изображения на экране телевизора оказывается недостаточной, а на экран цветного телевизора выводится только чернобелое изображение и получить цветное изображение не удастся. В этих случаях использование рамочных антенн также позволяет получить хороший эффект.

Антенны типа «волновой канал» и рамочные относятся к узкополосным и способны принимать сигнал только по одному каналу, которому соответствуют размеры элементов антенны. При развитии многопрограммного телевидения возникла необходимость приема нескольких программ, передаваемых по разным каналам. Для этого разработаны широкополосные антенны, способные примерно одинаково принимать группу каналов. К таким антеннам относятся зигзагообразные, логопериодические и антенны бегущей волны. Там, где возможен прием нескольких программ, устанавливается широкополосная коллективная антенна или несколько антенн, рассчитанных на соответствующие частотные каналы, а также один широкополосный антенный усилитель или несколько для разных каналов. Типы антенн и усилителей подбирают так, чтобы гарантировать уверенный прием всех программ, принимаемых в данном населенном пункте всеми абонентами, подключенными к этой коллективной антенне. Необходимо лишь отметить, что коэффициент усиления широкополосных антенн, как правило, значительно меньше, чем узкополосных, а соединить несколько широкополосных антенн в синфазную систему не удастся из-за невозможности согласования такой системы во всем диапазоне частот. Это ограничивает возможности использования широкополосных антенн, допуская их применение только там, где напряженность поля сигналов по всем принимаемым каналам достаточно велика.

Зигзагообразные антенны. Как уже упоминалось выше, зигзагообразные антенны являются широкополосными и могут работать в широком диапазоне частот. В пределах того диапазона частот, на который рассчитана зигзагообразная антенна, она обладает сравнительно постоянными параметрами, удовлетворительно согласуется с фидером, а ее коэффициент усиления изменяется в небольшой степени. Еще одно из достоинств этих антенн – возможность легкого изготовления в домашних условиях, так как зигзагообразные антенны могут быть выполнены из подручных материалов. Впервые зигзагообразная антенна описана в радиолюбительской литературе К. П. Харченко в журнале «Радио», 1961 г., № 3, а ее разновидности многократно публиковались в последующие годы. Одна из простейших зигзагообразных антенн – проволочная – показана на рис. 21. В качестве мачты (1) используется деревянный брус сечением 60x60 мм, к которому крепятся под углом 90° две рейки (2), выполненные из деревянных брусков сечением 40x40 мм. Рейки необходимо врезать в мачту заподлицо, а затем скрепить с ней болтами с гайками. В верхней и нижней частях мачты к ней крепятся гвоздями или шурупами две планки (3) из листовой меди, латуни или белой жести размерами 20x300 мм. Еще четыре такие же планки устанавливаются на концах реек, но эти планки изолируют от реек прокладками из гетинакса. К мачте посередине между рейками крепится пластина (4) из гетинакса размерами 80x300 мм, а к ней – две металлические пластинки (5) в форме сегментов радиусом 340 мм, хордой 300 мм и стрелой 35 мм. Ширина просвета между пластинками в наиболее узкой части должна получиться равной 10 мм.

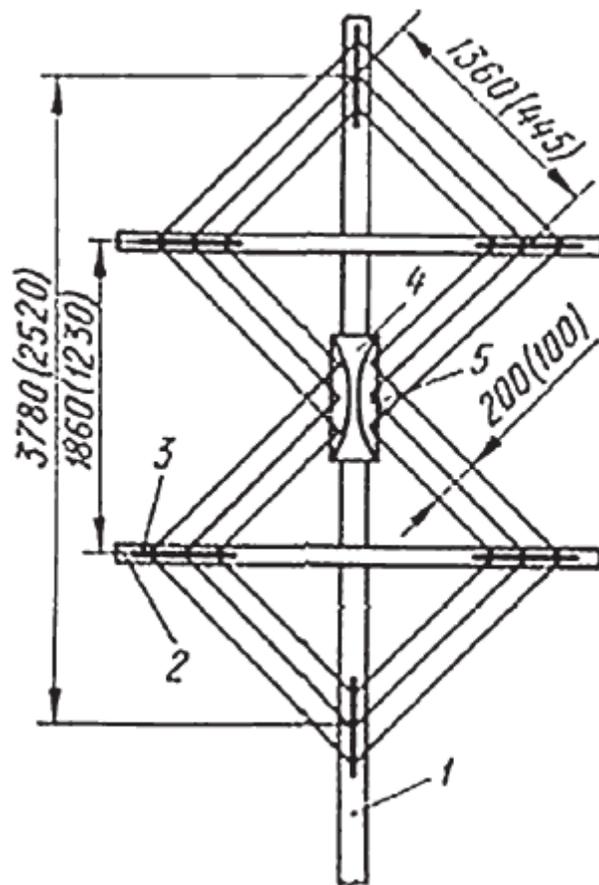


Рис. 21

Полотно антенны выполняется обмоточным монтажным проводом или антенным канатиком произвольного диаметра, который в точках изгиба припаивается к планкам (3) и пластинкам (5). Полотно образовано тремя параллельными проводами с точками питания на пластинках (5). Верхняя и нижняя планки при работе антенны оказываются в точках нулевого потенциала во всем диапазоне принимаемых волн, что позволяет не изолировать их от мачты. Кабель проходит по мачте вверх до нижней планки, затем прокладывается между проводами левой части зигзага к точкам питания. Здесь оплетка кабеля припаивается к левой пластинке, а центральная жила – к правой.

Размеры, показанные на рис. 21 без скобок, относятся к антенне, рассчитанной на прием телевизионного сигнала в диапазоне с 1-го по 5-й телевизионный канал (диапазоны I и II). При этом согласование антенны с фидером характеризуется коэффициентом бегущей волны в фидере, превышающим 0,45, что соответствует передаче мощности сигнала к телевизору не менее 85 %. Коэффициент усиления антенны по диапазону изменения в пределах 4,3–7,9 дБ с максимумом вблизи 3-го частотного канала.

Такая же антенна может быть выполнена для приема сигнала в диапазоне III (6-12-й каналы). Длина планок берется равной 150 мм, изоляционная пластина (4) – размерами 80x150 мм, а металлические пластины (5) – в форме сегментов радиусом 97 мм, хордой 150 мм и стрелой 35 мм. В связи с тем, что относительная ширина этого диапазона меньше, согласование антенны с фидером получается лучше: коэффициент бегущей

волны в фидере превышает 0,65 (к телевизору передается более 96 % принятой антенной мощности сигнала). Коэффициент усиления антенны изменяется по диапазону в пределах 4,8–6,9 дБ.

Еще одна конструкция зигзагообразной антенны – кольцевая, приведена на рис. 22а.

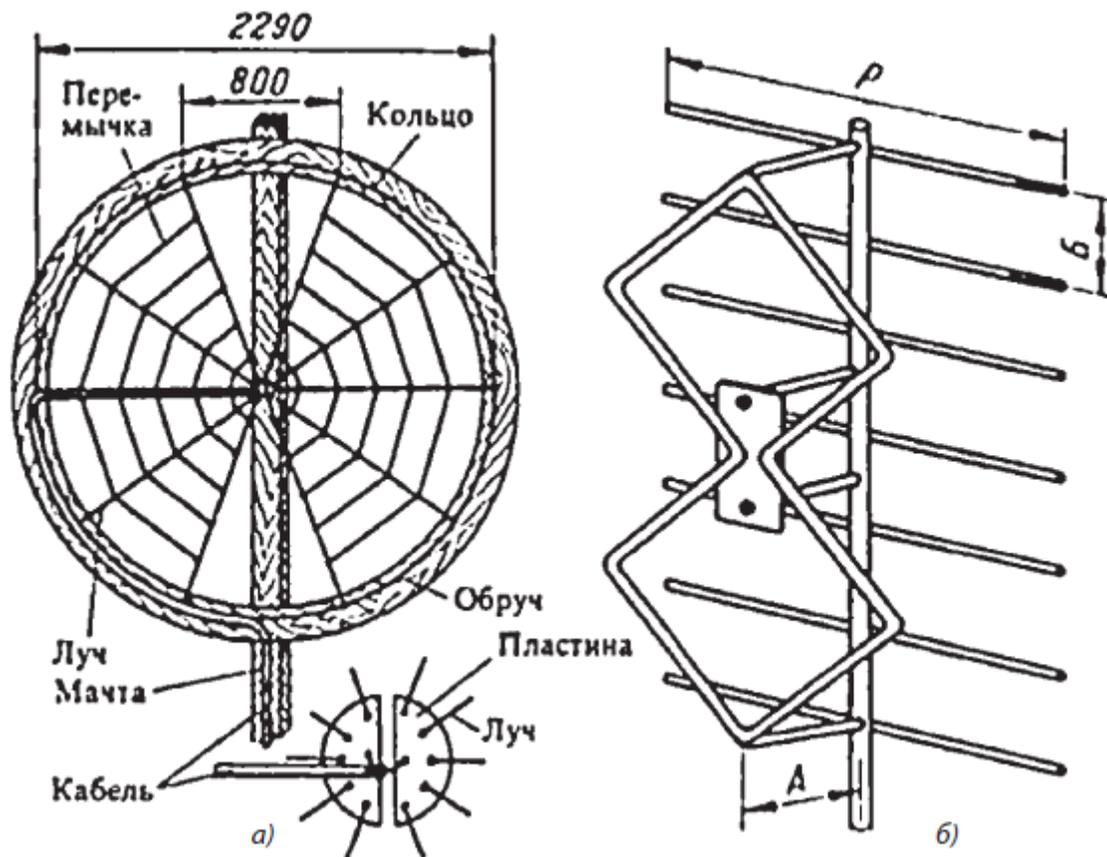


Рис. 22

Эти конструкции зигзагообразных антенн имеют два одинаковых лепестка диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, максимумы которых направлены перпендикулярно плоскости полотна антенны. Таким образом, эти антенны принимают сигнал как спереди, так и сзади, подобно одиночному полуволновому вибратору, что создает опасность приема помех с заднего направления. Значительно улучшить работу зигзагообразной антенны можно за счет ее усложнения добавлением рефлектора (рис. 22б). Рефлектор образован горизонтальными металлическими трубками, прикрепленными к мачте, а полотно антенны отодвинуто от плоскости рефлектора на некоторое расстояние A . В точках нулевого потенциала в верхней и нижней частях полотна антенны крепят металлическими стойками к мачте, которая также может быть металлической. В средней части такими же двумя стойками крепят к мачте изоляционную пластину, на которой закреплены углы полотна антенны в точках питания. Диаметр трубок рефлектора можно выбирать произвольно, а их длина P для антенны 1-5-го каналов должна составлять 3100 мм, для антенны 6-12-го каналов 890 мм, расстояние между полотном антенны и плоскостью рефлектора A для 1-5-го каналов – 600 мм, для 6-12-го каналов – 340 мм, расстоя-

ние между трубками рефлектора Б для антенны 1-5-го каналов должно быть 290 мм, для антенны 6-12-го каналов – 193 мм. Размеры полотна антенны те же, что указаны на рис. 21. Таким образом, рефлектор содержит 14 трубок. Размеры изоляционной пластины выбирают произвольно. Кабель к этой антенне прокладывают следующим образом: по мачте вверх, по нижней стойке, затем по левой части антенного полотна до точек питания. Здесь оплетку припаивают к углу левой части полотна, а центральную жилу – к углу правой части.

Диаграмма направленности этой антенны имеет только один главный лепесток, а задний практически отсутствует. Согласование антенны 1-5-го каналов с фидером получается не очень хорошим, так как для его улучшения следовало бы увеличить расстояние А, но это конструктивно сложно. У антенны 6-12-го каналов согласование значительно лучше. Коэффициент усиления антенны 1-5-го каналов плавно нарастает от 7,8 дБ на 1-м канале до 14 дБ на 5-м, а антенны 6-12-го каналов изменяются в меньших пределах – от 7,8 до 10 дБ.

Сравнение зигзагообразных антенн с рамочными позволяет сделать следующие выводы. Конструктивно зигзагообразные антенны проще, легко могут быть изготовлены в домашних условиях из подручных материалов и не нуждаются в согласующем устройстве. Основное достоинство зигзагообразных антенн заключается в том, что они могут быть выполнены широкополосными для использования там, где возможен прием нескольких телевизионных программ. Однако рамочные антенны имеют значительно меньшие габариты и при сравнимых размерах более эффективны.

Антенны бегущей волны. Антеннами бегущей волны принято называть направленные антенны, вдоль геометрической оси которых распространяется бегущая волна принимаемого сигнала. Обычно антенна бегущей волны состоит из собирательной линии, к которой подключено несколько вибраторов, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Наведенные электромагнитным полем ЭДС в вибраторах складываются в собирательной линии в фазе и поступают в фидер. Коэффициент усиления антенны бегущей волны определяется длиной собирательной линии и пропорционален отношению этой длины к длине волны принимаемого сигнала. Кроме того, коэффициент усиления антенны зависит от направленных свойств вибраторов, подключенных к собирательной линии. Хотя по определению к антеннам бегущей волны должны относиться и такие антенны, как антенны типа «волновой канал», однако обычно их выделяют в отдельную группу.

У антенны типа «волновой канал» один вибратор активный, остальные – пассивные, лишь переизлучающие принятую ими энергию сигнала, которая частично аккумулируется активным вибратором. У антенны бегущей волны все вибраторы активные, принятая ими энергия сигнала передается в собирательную линию. Если антенны типа «волновой канал» являются узкополосными и способны эффективно принимать сигнал только по одному определенному частотному каналу, которому соответствуют их размеры, то антенны бегущей волны широкополосные и совершенно не нуждаются в настройке.

Одна из возможных конструкций телевизионных антенн бегущей волны, предложенная В. Кузнецовым, показана на рис. 23. Собирательная линия образована двумя металлическими трубками диаметром 22–30 мм и представляет собой двухпроводную линию переменного волнового сопротивления. Для этого она выполнена расходящейся под небольшим углом, что обеспечивается установкой небольших изоляционных пластинок из оргстекла между трубками собирательной линии у ее концов и в середине. К каждой

из трубок собирательной линии под углом 60° присоединены трубки такого же диаметра, которые образуют шесть вибраторов, согнутых под углом 120° . Такие вибраторы обеспечивают значительное уменьшение заднего лепестка диаграммы направленности антенны, благодаря чему в большей части рабочего диапазона КЗД антенны оказывается не менее 14 дБ. Трубки собирательной линии скреплены между собой расположенными сверху и снизу пластинами из изоляционного материала, средняя из которых используется для укрепления антенны на мачте.

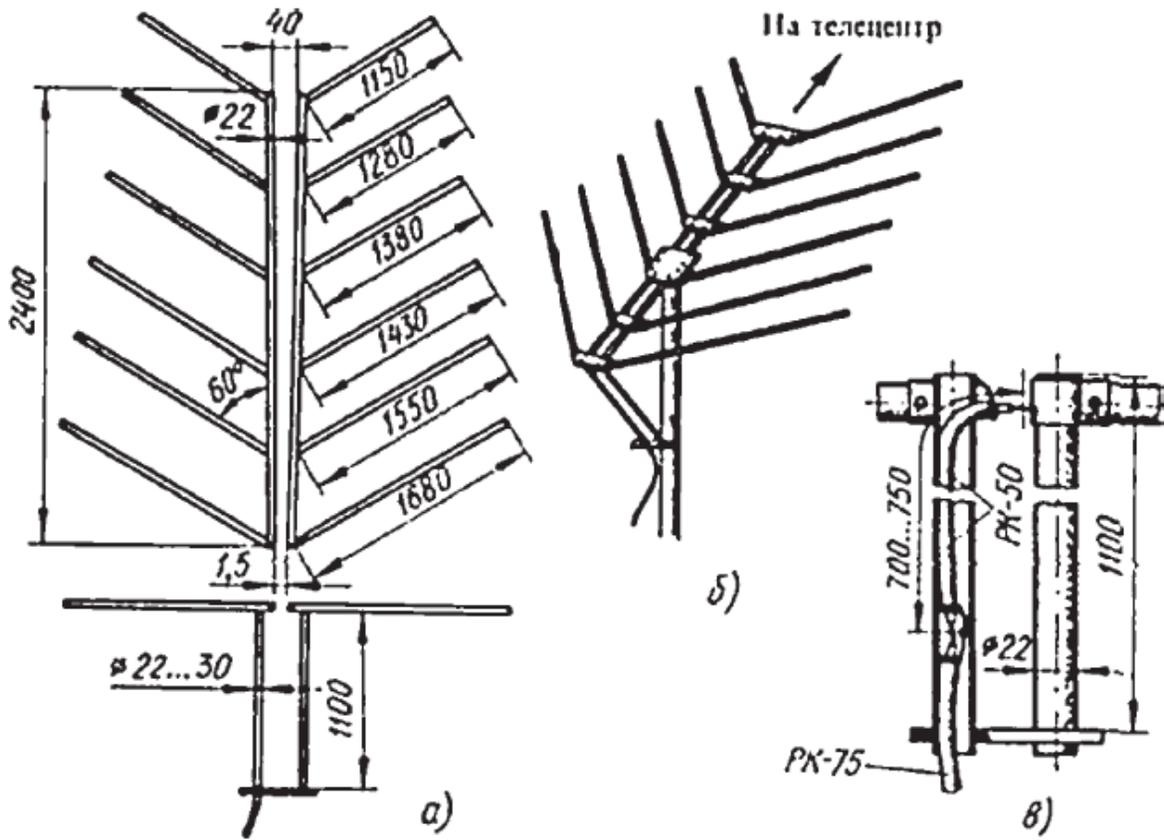


Рис. 23

Фидер подключают к антенне с помощью короткозамкнутого шлейфа, образованного двумя металлическими трубками с перемычкой в нижней части. Фидер в виде 75-омного кабеля входит внутрь левой трубки шлейфа снизу. К его концу подключен отрезок 50-омного кабеля, который служит трансформатором. Другой конец этого отрезка кабеля выходит через верхний конец левой трубки шлейфа. Здесь оплетка кабеля припаивается к левой трубке шлейфа, а центральная жила – к правой. Длина шлейфа 1100 мм и трансформатора 700 мм выбраны так, что в диапазоне 1-5-го каналов они соответствуют примерно $1/4$ длины волны, а в диапазоне 6-12-го каналов – $3/4$ длины волны, если брать среднюю длину волны этих диапазонов. Это обеспечивает приемлемое согласование антенны с фидером. Диаметр трубок, из которых выполнен короткозамкнутый шлейф, может быть произвольным. Антенна является 12-канальной с коэффициентом усиления на 1-2-м каналах 3,5 дБ, на 3-5-м каналах 4,6 дБ и на 6-12-м каналах 8 дБ.

Логопериодическая антенна (ЛПА). Направленные свойства большинства антенн изменяются при изменении длины волны принимаемого сигнала. У узкополосных антенн резко падает коэффициент усиления, а у широкополосных его изменение носит монотонный характер. Один из типов антенн с неизменной формой диаграммы направленности в широком диапазоне частот – антенны с логарифмической периодичностью структуры (ЛПА). Эти антенны отличаются широким диапазоном: отношение максимальной длины волны принимаемого сигнала к минимальной превосходит 10. Во всем диапазоне обеспечивается хорошее согласование антенны с фидером, а коэффициент усиления практически остается постоянным.

Внешний вид ЛПА показан на рис. 24а. Она образована собирательной линией в виде двух трубок, расположенных одна над другой, к которым крепятся плечи вибраторов поочередно через один. Схематически такая антенна показана на рис. 24б. Сплошными линиями изображены плечи вибраторов, соединенные с верхней трубкой собирательной линии, а штриховой линией – соединенные с нижней трубкой. Рабочая полоса частот антенны со стороны наибольших длин волн зависит от размеров наиболее длинного вибратора B_1 , а со стороны наименьших длин волн – от размера, наиболее короткого вибратора. Вибраторы вписаны в равнобедренный треугольник с углом при вершине X и основанием, равным наибольшему вибратору. Для логарифмической структуры полотна антенны должно быть выполнено определенное соотношение между длинами соседних вибраторов, а также между расстояниями от них до вершины структуры. Это соотношение носит название периода структуры τ :

$$B_2/B_1 = B_3/B_2 = \dots = A_2/A_1 = A_3/A_2 = \dots = \tau.$$

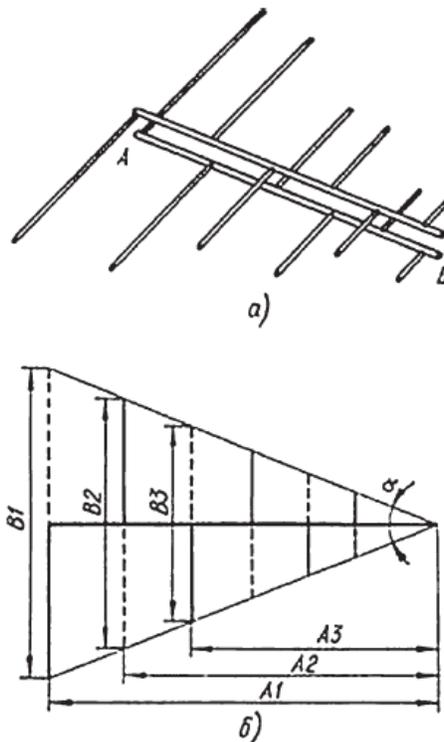


Рис. 24

Таким образом, размеры вибраторов и расстояния до них от вершины треугольника уменьшаются в геометрической прогрессии. Характеристики антенны определяются периодом структуры и углом при вершине описанного треугольника. Чем меньше угол α и чем больше период структуры τ (который всегда остается меньше единицы), тем больше коэффициент усиления антенны и меньше уровень заднего и боковых лепестков диаграммы направленности. Однако при этом увеличивается число вибраторов структуры, растут габариты и масса антенны. Поэтому при выборе угла и периода структуры приходится принимать компромиссное решение. Наиболее часто угол α выбирают в пределах $30\text{--}60^\circ$, а период структуры τ – в пределах $0,7\text{--}0,9$.

Подключение фидера к ЛПА, показанной на рис. 24а, производится без специально симметрирующего и согласующего устройства следующим образом. Кабель с волновым сопротивлением $75\ \text{Ом}$ вводится внутрь нижней трубки с конца А и выходит у конца Б. Здесь оплетка кабеля припаивается к концу нижней трубки, а центральная жила – к концу верхней трубки. В зависимости от длины волны принимаемого сигнала в структуре антенны возбуждаются несколько вибраторов, размеры которых наиболее близки к половине длины волны сигнала. Поэтому ЛПА по принципу действия напоминает несколько антенн типа «волновой канал», соединенных вместе, каждая из которых содержит вибратор, рефлектор и директор. На данной длине волны сигнала возбуждается только одна тройка вибраторов, а остальные настолько расстроены, что не оказывают влияния на работу антенны. Это приводит к тому, что коэффициент усиления ЛПА оказывается меньше, чем коэффициент усиления антенны типа «волновой канал» с таким же числом элементов, но зато полоса пропускания получается значительно шире.

Как видно из приведенных конструкций антенн бегущей волны и логопериодических, для достижения широкополосности используется принцип взаимной расстройки элементов антенны подобно тому, как в широкополосных усилителях расширение полосы пропускания достигается взаимной расстройкой контуров. Как для усилителей, так и для антенн можно считать общим принципом постоянство для данной конструкции произведения коэффициента усиления на полосу пропускания. Чем шире полоса пропускания, тем меньше коэффициент усиления при данных габаритах антенны.

Антенну можно выполнить комнатной или наружной. В комнатном варианте вместо мачты применяется вертикальная стойка на тяжелой подставке. Антенну в комнате необходимо тщательно ориентировать, подбирая место установки, так как часто, сдвигая антенну, удастся значительно улучшить изображение. На равнинной местности такая наружная антенна обеспечивает уверенный прием телепередач на расстоянии до $30\ \text{км}$ от телецентра, хотя имеются сообщения телезрителей, принимающих этой антенной дециметровые программы Останкинского телецентра на расстоянии $80\ \text{км}$ при хорошем качестве изображения.

Антенны вертикальной поляризации. Большинство телецентров и ретрансляторов ведут телевизионные передачи при горизонтальной поляризации сигнала. Описанные здесь эскизы различных антенн рассчитаны именно на горизонтальную поляризацию.

Поляризация излучаемой волны определяется положением передающей антенны, так как направление электрических силовых линий электромагнитного поля (вектор E) совпадает с направлением тока в передающей антенне. В свободном пространстве один вид поляризации не имеет каких-либо преимуществ перед другим, они равноценны. Реальные же условия распространения электромагнитных волн горизонтальной или вертикальной поляризации оказываются не одинаковыми. При горизонтальной поляризации

радиоволны легче преодолевают препятствия и проникают за линию горизонта за счет дифракции. Это приводит к увеличению радиуса уверенного приема сигнала. В условиях городской застройки, изобилующей вертикальными отражающими объектами в виде стен зданий, металлических и железобетонных столбов, водосточных труб, пожарных лестниц, деревьев, сигналы горизонтальной поляризации претерпевают меньше отражений, вызывающих помехи на экранах телевизоров. Системы зажигания двигателей внутреннего сгорания автотранспорта создают помехи с преобладанием вертикально поляризованной составляющей. Да и конструкции антенн для приема сигнала с горизонтальной поляризацией оказываются проще.

Тем не менее в последние годы все чаще вводят в строй телевизионные ретрансляторы, излучающие сигнал с вертикальной поляризацией. Это связано с тем, что для многопрограммного телевизионного вещания выделенных диапазонов частот уже не хватает, так как во избежание взаимных помех передатчики, работающие на одинаковых частотных каналах, должны располагаться на значительном расстоянии друг от друга – около 500 км. Тогда, находясь в зоне уверенного приема одного передатчика, окажется невозможным прием помехи, создаваемой другим. Если же второй передатчик будет излучать сигнал другого вида поляризации, это расстояние можно значительно сократить. Ведь антенна горизонтальной поляризации принимает сигнал с вертикальной поляризацией во много раз слабее.

В принципе, любая антенна, рассчитанная на горизонтальную поляризацию сигнала, может принимать вертикально поляризованный сигнал, если эту антенну повернуть на 90° вокруг воображаемой оси, представляющей собой направление на передатчик. Так, вибраторы антенн типа «волновой канал» для горизонтальной поляризации сигнала должны располагаться горизонтально. Для приема же сигнала с вертикальной поляризацией достаточно повернуть антенну так, чтобы ее вибраторы заняли вертикальное положение (рис. 25).

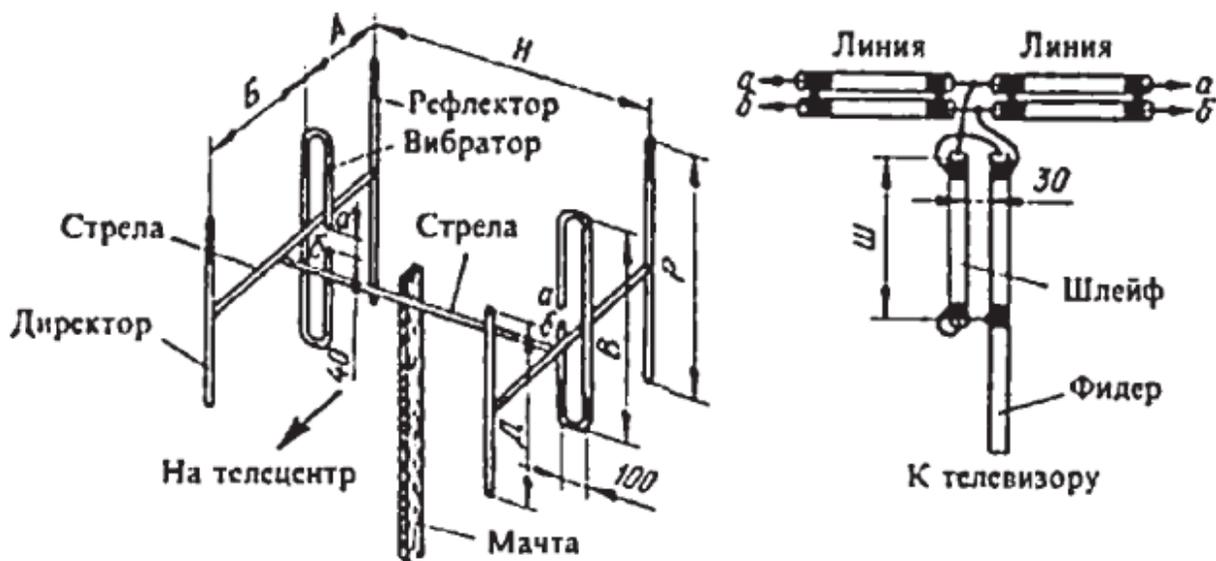


Рис. 25

Трудности при приеме сигнала с вертикальной поляризацией состоят в том, что вблизи антенны в этом случае не должно находиться вертикально расположенных проводящих предметов. Поэтому, например, мачта, которая может быть металлической для антенны горизонтальной поляризации, в случае установки антенны вертикальной поляризации должна быть выполнена из хорошего диэлектрика, по крайней мере, если не вся мачта, то ее верхняя часть размером не менее длины волны принимаемого канала. Другой способ – установка антенны вертикальной поляризации на Г-образной опоре, что обеспечивает удаление антенны от вертикальной мачты. Фидер, симметрирующее и согласующее устройство поблизости от антенны также не должны быть расположены вертикально.

Наружные антенны для дальнего приема

Основная особенность дальнего приема телевизионных передач состоит в низком уровне напряженности поля принимаемого сигнала из-за большого расстояния между передающей и приемной антеннами в дальней части зоны прямой видимости и из-за затенения поверхностью земли за границей зоны прямой видимости – в зоне полутени. По мере удаления от передатчика напряженность поля монотонно уменьшается, но в зоне полутени это уменьшение становится более резким. В зоне прямой видимости увеличение расстояния от передатчика сопровождается уменьшением плотности потока мощности сигнала (уменьшается густота силовых линий поля) просто хотя бы потому, что с увеличением радиуса окружности увеличивается ее длина. За границей зоны прямой видимости напряженность поля определяется почти исключительно дифракцией и нормальной рефракцией радиоволн.

Другая особенность дальнего приема заключается в наличии помех от других телевизионных передатчиков, работающих на том же или на соседнем частотном канале. Для ослабления таких помех действующими нормами установлены минимальные расстояния между передатчиками: около 500 км между передатчиками, работающими на одинаковых каналах, и около 300 км между передатчиками, работающими на соседних по частоте каналах. Тем не менее, в условиях дальнего приема такие помехи имеют место, и приходится использовать специальные меры для их ослабления.

В условиях дальнего приема сильное влияние на уровень напряженности поля оказывает погода. В случае тумана, дождя или снега резко увеличивается поглощение энергии сигнала в пространстве, особенно в диапазоне дециметровых волн, и прием иногда становится вообще невозможен.

Важное значение имеет поверхность на трассе, над которой распространяется сигнал. Сплошные и протяженные леса ухудшают условия распространения, над равниной, болотами и особенно над морем сигнал распространяется лучше. Очень плохими оказываются условия приема телевизионных передач в горных условиях, где границы зоны прямой видимости не зависят от расстояния до передатчика, а целиком определяются местным рельефом. Естественно, что и на равнинной местности встречаются холмы и долины. При этом даже на сравнительно близком расстоянии от передатчика, когда пункт приема расположен в долине, напряженность поля может оказаться достаточно низкой. Поэтому нельзя ориентироваться исключительно на расстояние до телецентра или ретранслятора, а следует учитывать рельеф местности.

Одна из особенностей дальнего приема – наличие замираний сигнала, то есть регулярных изменений напряженности поля. В зоне полутени, где уровень напряженности поля сильно зависит от нормальной рефракции, наблюдаются суточные и сезонные из-

менения напряженности поля. При ясной погоде в дневное время рефракция радиоволн возрастает и напряженность поля увеличивается. Как правило, напряженность поля увеличивается также летом. Такие медленные замирания особенно заметны на высокочастотных каналах: в диапазоне 6-12-го каналов и в дециметровом диапазоне. Помимо медленных наблюдаются также и быстрые замирания, период которых не превышает часа. Такие замирания связаны с наличием местных возмущений атмосферы на трассе при порывах ветра, наличием отдельных облаков или, наоборот, просветов в сплошной облачности. Быстрые замирания в условиях дальнего приема бывают достаточно глубокими, порой напряженность поля может изменяться в десятки раз.

Низкий уровень напряженности поля сигнала в условиях дальнего приема телевизионных передач диктует необходимость установки высокоэффективной антенны с большим коэффициентом усиления, так как напряжение принимаемого сигнала на выходе антенны определяется произведением напряженности поля на коэффициент усиления антенны. В связи с тем, что радиус зоны прямой видимости определяется высотой расположения приемной антенны, в дальней части зоны прямой видимости и в зоне полутени напряженность поля в точке приема зависит от высоты расположения антенны, причем зависимость эта оказывается примерно пропорциональной: при увеличении высоты антенной мачты вдвое напряженность поля также увеличивается в 2 раза. Поэтому всегда целесообразно использовать антенную мачту максимально возможной высоты. Установка приемной антенны с большим коэффициентом усиления на высокой мачте обеспечит увеличение напряжения сигнала на выходе антенны как при устойчивом уровне напряженности поля, так и в условиях замираний.

Для борьбы с замираниями сигнала все радиоприемники, радиовещательные и телевизионные, снабжаются системой автоматической регулировки усиления (АРУ), которая уменьшает усиление приемного тракта при увеличении сигнала на входе и увеличивает усиление при его уменьшении. Однако система АРУ способна противостоять замираниям только в тех случаях, когда минимальный сигнал оказывается все-таки больше порога чувствительности приемника. Такой уровень напряжения сигнала на входе телевизионного приемника и должна обеспечить используемая антенна.

Многоэлементные антенны типа «волновой канал». Выше уже были рассмотрены достоинства и недостатки многоэлементных антенн типа «волновой канал», и в любительских условиях не рекомендовалось заниматься изготовлением таких антенн. В условиях дальнего приема допустимо использование многоэлементных антенн типа «волновой канал» промышленного производства. Тогда есть вероятность того, что антенна настроена заводом-изготовителем.

В радиолобительской литературе часто публикуются описания конструкций самодельных многоэлементных антенн типа «волновой канал», приводятся их коэффициенты усиления и рекомендуются такие антенны для использования в условиях дальнего приема. Не подвергая сомнениям результаты, полученные авторами этих конструкций, хотелось бы заметить, что оценка пригодности той или иной конкретной конструкции антенны может быть сделана только при многократном повторении этой конструкции, а не по единичному результату. Отклики же радиолобителей, которые пытались изготовить и установить подобные антенны, в большинстве случаев оказываются отрицательными, что свидетельствует о плохой повторяемости этих конструкций антенн. Кроме того, необходимо учесть, что отнюдь не все эксперименты по созданию многоэлементных антенн заканчиваются соответствующими публикациями. Естественно, что в тех случаях,

когда получались плохие результаты, они не находили отражения в литературе. В то же время по многочисленным откликам повторяемость рамочных антенн оказывается очень высокой, да и коэффициент усиления этих антенн значительно больше. Это и вынуждает рекомендовать в условиях дальнего приема применение рамочных антенн вместо антенн типа «волновой канал».

Синфазные антенные решетки. Синфазная антенная решетка представляет собой сложную направленную антенную систему, состоящую из отдельных слабонаправленных антенн, разнесенных в пространстве и расположенных таким образом, что фазы наведенных в них сигналов оказываются одинаковыми. Антенны в решетке соединяют между собой, они должны работать на общую согласованную нагрузку. Как правило, синфазную решетку собирают из одинаковых антенн, расположенных в несколько рядов и несколько этажей. Схема соединения антенн решетки должна быть составлена так, чтобы не нарушалась синфазность сигналов, поступающих от каждой антенны в нагрузку, так как только при одинаковых фазах этих сигналов они будут складываться. Кроме того, схема соединения антенн решетки одновременно должна обеспечивать их согласование с нагрузкой, так как при рассогласовании общего входного сопротивления решетки с сопротивлением нагрузки часть энергии принятого антеннами сигнала отразится от нагрузки и будет излучаться обратно в пространство, что приведет к уменьшению коэффициента усиления антенной решетки.

Использование вместо одной антенны нескольких таких же антенн, соединенных в синфазную решетку, приводит к усилению сигнала на выходе такой антенной системы, сужению диаграммы направленности и в результате к увеличению коэффициента усиления по сравнению с коэффициентом усиления одиночной антенны, входящей в состав решетки. Увеличение коэффициента усиления синфазной антенной решетки происходит за счет двух факторов.

Во-первых, в каждой антенне решетки электромагнитным полем принимаемого передатчика наводится сигнал определенной мощности, той самой, которая наводилась бы в одиночной антенне данного типа, а затем мощности сигналов, принятых всеми антеннами, складываются в нагрузку. Поэтому результирующая мощность сигнала на выходе синфазной решетки во столько же раз больше мощности сигнала на выходе одиночной антенны того же типа, сколько антенн содержится в решетке. В связи с тем, что сопротивление нагрузки остается неизменным независимо от того, используется одна антенна или несколько, напряжение результирующего сигнала на выходе синфазной решетки увеличивается по сравнению с напряжением сигнала на выходе одиночной антенны того же типа не во столько раз, сколько антенн содержится в решетке, а в число, равное корню квадратному из числа антенн. Так, при наличии в решетке четырех антенн мощность сигнала на выходе решетки увеличивается в 4 раза, а напряжение – в 2 раза, при девяти антеннах мощность увеличивается в 9 раз, а напряжение сигнала – в 3 раза и т. д. Соответственно увеличивается коэффициент усиления синфазной решетки по сравнению с коэффициентом усиления одиночной антенны.

Во-вторых, поперечные размеры антенной решетки относительно направления, с которого приходит сигнал, больше поперечных размеров одиночной антенны. Иначе говоря, при использовании синфазной решетки увеличивается поверхность абсорбции антенны – та поверхность, из которой антенна поглощает мощность электромагнитного поля. Это приводит к сужению диаграммы направленности антенной системы, что эквивалентно дополнительному повышению коэффициента усиления антенны, то есть до-

полнительному увеличению напряжения сигнала на выходе решетки. Сужение диаграммы направленности решетки обусловлено тем, что только те сигналы, которые принимает каждая антенна с главного направления, перпендикулярного плоскости решетки, оказываются синфазными. Сигналы же, приходящие под углом к главному направлению, поступают к антеннам решетки, разнесенным в пространстве, не одновременно, а со сдвигом во времени или по фазе. Таким образом, сигналы, приходящие под углом, за счет разности хода наводят в антеннах решетки напряжения, сдвинутые по фазе, которые складываются геометрически, как векторы. Их геометрическая сумма оказывается меньше арифметической суммы напряжений, наведенных в антеннах решетки сигналами, приходящими с главного направления. Чем больше поперечные размеры решетки, тем больше разность хода сигналов, приходящих под тем же самым углом к главному направлению, и тем больше сдвиг фаз, то есть меньше результирующий сигнал. Следовательно, с увеличением поверхности абсорбции сужается диаграмма направленности и увеличивается коэффициент усиления синфазной решетки. Увеличение вертикального размера решетки сужает диаграмму направленности в вертикальной плоскости, увеличение горизонтального размера решетки сужает диаграмму направленности в горизонтальной плоскости.

Таким образом, можно определить коэффициент усиления синфазной антенной решетки. В первую очередь, он зависит от коэффициента усиления антенн, входящих в состав решетки, и должен быть увеличен за счет увеличения числа антенн решетки, а также за счет увеличения поверхности абсорбции решетки по сравнению с поверхностью абсорбции одиночной антенны.

Часто допускается ошибка, когда число антенн, входящих в состав решетки, не учитывают, а исходят только из коэффициента усиления одиночной антенны и увеличения поверхности абсорбции. Истоки этой ошибки лежат в аналогии между приемными и передающими антеннами, исходя из принципа взаимности. При рассмотрении передающей антенны предполагается, что мощность передатчика постоянная и не зависит от числа антенн в решетке. При увеличении числа антенн мощность, приходящая на каждую антенну, уменьшается. Соответственно уменьшается и та доля энергии электромагнитного поля, которая обусловлена излучением каждой из антенн решетки. Поэтому напряженность поля в точке приема не зависит от числа антенн в решетке передающей антенны. Если бы к каждой антенне передающей решетки был подключен свой передатчик, увеличение числа антенн в решетке приводило бы к увеличению излученной энергии. При этом напряженность поля в точке приема усиливалась бы в зависимости от увеличения не только эффективной площади поверхности решетки (эквивалентной поверхности абсорбции приемной антенны), но и от числа антенн в решетке. Именно в этих условиях применима аналогия между передающей и приемной антеннами, так как напряженность поля в точке приема считается неисчерпаемой и не уменьшается при увеличении числа антенн в решетке приемной антенной системы.

Исходя из приведенных соображений, можно сделать вывод: при повышении числа антенн синфазной решетки в 2 раза и таком же увеличении площади поверхности абсорбции коэффициент усиления решетки должен существенно увеличиться. На практике, однако, такого увеличения коэффициента усиления по сравнению с одиночной антенной не получается в связи с тем, что происходит частичное перекрытие поверхностей абсорбции отдельных антенн и неизбежно некоторое рассогласование в цепях фазирования антенн и в цепях согласования сопротивлений антенн и нагрузки. Поэтому в зави-

симости от расстояния между антеннами можно считать, что при повышении числа антенн в решетке в 2 раза коэффициент усиления увеличивается в пределах нескольких дБ.

Форма диаграммы направленности синфазной антенной решетки определяется диаграммой направленности антенн, составляющих решетку, и конфигурацией самой решетки (число рядов, число этажей и расстояния между ними). При двух ненаправленных антеннах, размещенных рядом на расстоянии, равном половине длины волны (между осями антенн), диаграмма направленности в горизонтальной плоскости имеет вид восьмерки, а прием с боковых направлений, перпендикулярных главному, отсутствует. Если увеличивать расстояние между антеннами, ширина главного лепестка диаграммы направленности уменьшается, но появляются боковые лепестки с максимумами в направлениях, перпендикулярных главному. При расстоянии между антеннами, равном $0,6$ длины волны, уровень боковых лепестков составляет $0,31$ уровня главного лепестка, а ширина диаграммы направленности по половинной мощности уменьшается в $1,2$ раза относительно решетки с расстоянием между антеннами, равным $2/2$. При расстоянии между антеннами, равном $0,75$ длины волны, уровень боковых лепестков увеличивается до $0,71$ уровня главного, а ширина диаграммы направленности уменьшается в $1,5$ раза. Наконец, при расстоянии между антеннами, равном длине волны, уровень боковых лепестков достигает уровня главного лепестка, но ширина диаграммы направленности уменьшается в 2 раза по сравнению с расстоянием между антеннами в полволны. Из этого примера видно, что целесообразнее выбирать расстояния между антеннами, равные длине волны. Это обеспечивает наибольшее сужение главного лепестка диаграммы направленности. Наличие боковых лепестков опасаться нет нужды, так как при использовании в составе решетки направленных антенн они с направлений, перпендикулярных главному, сигналов не принимают.

Располагать антенны в решетке на расстояниях, меньших половины длины волны (даже если конструкция антенн это позволяет), нецелесообразно, так как при этом перекрываются поверхности абсорбции и эффект получается слабым. Увеличивать же расстояния сверх длины волны недопустимо, так как при этом в диаграмме направленности появляются дополнительные боковые лепестки, неперпендикулярные главному направлению.

Синфазные решетки могут быть собраны из антенн самых различных типов. Обычно в решетке используют одинаковые антенны, что упрощает их согласование с нагрузкой и фазирование. Однако не исключено использование в решетке и разных антенн. В условиях дальнего приема телевизионных передач радиолюбители в основном применяют синфазные решетки, собранные из антенн типа «волновой канал» и рамочных. При этом к тем недостаткам многоэлементных антенн типа «волновой канал», которые были рассмотрены выше, следует добавить еще один. Две или несколько антенн этого типа, даже в том случае, если они изготовлены точно по чертежам и из одинаковых материалов, оказываются расстроены по-разному. Поэтому фазы принятых ими сигналов на выходах антенн одинаковыми не получаются и неизбежно наличие расфазирования, что значительно уменьшает коэффициент усиления решетки. Таким образом, для радиолюбителей можно считать допустимым использование синфазных решеток, собранных лишь из трехэлементных антенн типа «волновой канал», естественная расстройка которых, как отмечалось выше, незначительна и не приводит к необходимости индивидуальной настройки каждой антенны, а также к фазированию антенн в решетке.

Наружные антенны для сверхдального приема

Сверхдальный прием телевизионных передач наблюдается сравнительно редко, сеансы его непродолжительны и не поддаются прогнозированию. Сверхдальный прием возможен при случайно сложившихся благоприятных условиях распространения сигнала. Рассмотрим, каковы же эти условия и чем объясняется сверхдальный прием телевидения.

Как известно, основой распространения радиоволн длинноволнового и средневолнового диапазонов является земная волна, которая характеризуется тем, что энергия электромагнитного поля огибает земную поверхность за счет преломления в атмосфере. Это преломление происходит благодаря уменьшению плотности воздуха с высотой. Радиоволны коротковолнового диапазона слабо преломляются в атмосфере, но способны отражаться от ее верхних ионизированных слоев.

Долгое время считалось, что радиоволны метрового диапазона не огибают поверхность земли (не подвержены рефракции) и не отражаются ионосферой. Это, однако, оказалось не так. Степень ионизации слоев ионосферы резко возрастает в годы солнечной активности, а также и по другим причинам. Это приводит к образованию условий, способствующих отражению волн метрового диапазона. Наиболее важными в этом отношении являются слой E, расположенный на высоте 95-120 км над поверхностью земли, и слой F2, расположенный на высоте 230–400 км. Считается, что образование слоя E связано с ионизацией молекул азота и кислорода рентгеновским и ультрафиолетовым излучением Солнца, а образование слоя F2 – ионизацией тех же газов ультрафиолетовым и корпускулярным излучениями Солнца. Слой E характеризуется большим постоянством электронной концентрации изо дня в день, которая возрастает днем и уменьшается ночью, а слой F является неустойчивым образованием. В этом слое как электронная концентрация, так и высота расположения ее максимума в разные дни колеблются в значительных пределах. Однако днем концентрация электронов в этом слое также выше, чем ночью, и, кроме того, зимой она значительно выше, чем летом. В предрассветные часы наблюдается глубокий минимум электронной концентрации слоя F2.

Время от времени в области E образуется сильно ионизированный слой, который называют «спорадическим слоем E». Интенсивность спорадического слоя E во много раз выше интенсивности нормального слоя E. Исследования показали, что спорадический слой E представляет собой скопление электронных облаков, которые имеют горизонтальную протяженность в десятки и сотни километров и движутся со скоростью до 300 км/ч. Время существования этого слоя колеблется в широких пределах, но не превышает нескольких часов. Спорадический слой E может возникать в любое время суток и года, однако в средних широтах он чаще образуется в летние дни. Предполагается, что образование спорадического слоя E связано с просачиванием заряженных частиц из вышерасположенных слоев и с потоками метеоров. Подобно тому как радиоволны длинноволнового и средневолнового диапазонов преломляются в атмосфере, радиоволны УКВ-диапазона преломляются в ионосфере. Степень преломления зависит от электронной концентрации слоя и от длины радиоволны или ее частоты.

Чем больше частота волны, тем более высокая концентрация электронов требуется для того, чтобы за счет преломления и полного внутреннего отражения волна вернулась на Землю. Кроме того, доказано, что в точке отражения волны электронная концентрация обязательно должна возрастать с высотой. Отражение не может происходить в области максимума и тем более в области уменьшения электронной концентрации с высо-

той. Непостоянство электронной концентрации в ионизированных слоях, ее изменения в течение года и в течение суток, кратковременность и случайность спорадического слоя E приводят к тому, что условия достаточного преломления и полного внутреннего отражения, необходимые для возврата радиоволн на землю, возникают также случайно, длятся кратковременно и не прогнозируются.

Электронные концентрации различных слоев, измеренные с помощью геофизических ракет в разное время, объясняют, почему сверхдальний прием телевидения наблюдается только в пределах первого диапазона (1-й и 2-й телевизионные каналы). Частота волн последующих диапазонов больше и требует для возврата волны на землю таких электронных концентраций, которых в слоях не бывает. Волны этих диапазонов от ионосферы не отражаются, а пронизывают ее насквозь. Сверхдальний прием телевизионных программ обусловлен появлением слоя F2 и спорадического слоя E. Однако электронная концентрация нормального слоя E недостаточна для отражения волн телевизионного диапазона, следовательно, и сверхдальнего приема не происходит.

Согласно законам преломления, луч, падающий на преломляющую поверхность нормально (под прямым углом), не преломляется. Чем более полого падает луч на преломляющую поверхность, тем больше вероятность того, что будут достигнуты условия для полного внутреннего отражения, тем меньшая электронная концентрация для этого потребуется. Поэтому сверхдальний прием телевидения наблюдается только на больших расстояниях (около 1000 км и более) от телевизионного передатчика, а меньшие расстояния для сверхдальнего приема образуют мертвую зону.

Протяженность электронных облаков и электронная концентрация ионизированных слоев изменяются в широких пределах. Поэтому также в широких пределах изменяется напряженность поля телевизионного сигнала при появлении сверхдальнего приема. Эти пределы настолько широки, что иногда оказывается возможным сверхдальний прием с хорошим качеством изображения даже при использовании комнатных антенн. Тем не менее, вероятность получения устойчивого изображения при сверхдальнем приеме увеличивается при использовании высокоэффективных антенн и высокочувствительных телевизионных приемников. Из числа таких приемников можно рекомендовать телевизор для дальнего приема Н. Швырина, описание которого приводилось в журнале «Радио» № 12 за 1972 г. Этот телевизор пригоден для приема сигналов с разными стандартами разложения изображения. Однако следует учесть, что постройка такого телевизора, а особенно его налаживание и настройка доступны лишь очень опытным радиолюбителям. К тому же в журнале приводилось недостаточно подробное описание.

В качестве антенн целесообразно использовать узкополосные антенны с большим коэффициентом усиления, например, двухрядную синфазную решетку из трехэлементных рамочных антенн, построенную по размерам для первого канала. Желательно установить антенну на высокой мачте, а если длина фидера превысит 50 м, использовать малошумящий антенный усилитель (МШУ), установив его на мачте в непосредственной близости от антенны. В связи с тем, что заранее неизвестно, с какого направления окажется возможным осуществить сверхдальний прием при сложившихся благоприятных условиях распространения сигнала, необходимо иметь возможность быстро и оперативно ориентировать антенну. Для этого антенну устанавливают на поворотной мачте, которая может вращаться с приводом от реверсивного электродвигателя, оснащенного редуктором с большим коэффициентом передачи. Благодаря такому редуктору мощность двигателя может быть небольшой, так как момент вращения с вала двигателя увеличива-

ется пропорционально коэффициенту передачи редуктора. Естественно, что выходные шестерни редуктора должны быть рассчитаны на большие усилия. Во избежание скручивания фидера система поворота антенной мачты должна быть оснащена концевыми выключателями питания электродвигателя, которые ограничивают поворот мачты. Эти же концевые выключатели могут быть использованы для сигнализации о достижении предельного поворота антенны. Некоторые радиолюбители дополняют систему дистанционного поворота антенны парой сельсинов. Это дает возможность по шкале, установленной на оси сельсина-приемника, определять направление антенны в любом ее положении.

Конечно, в тех случаях, когда установка для сверхдального приема предназначена для приема телевизионных передач одного определенного телецентра, нет нужды выполнять антенну поворотной. В этом случае антенна ориентируется по направлению на передатчик раз и навсегда при ее установке.

Разновидности промышленных наружных телевизионных антенн

Согласно ГОСТу, условное обозначение отечественных наружных телевизионных антенн начинается с букв АТ – антенна телевизионная. Третья буква указывает назначение антенны: К – коллективная; И – индивидуальная. Четвертая буква указывает на исполнение: Г – для горизонтальной поляризации сигнала; Г/В – комбинированное исполнение; Г(В) – альтернативное исполнение. Первая цифра после букв обозначает тип антенны, который подразделяется в зависимости от числа принимаемых ТВ каналов или диапазонов частот: 1 – одноканальные антенны, работающие в полосе частот одного ТВ канала, расположенного в диапазоне частот I, II или III; 2 – многоканальные антенны, работающие в полосах частот двух или нескольких каналов; 3 – широкополосные антенны, работающие в диапазонах частот I и II; 4 – широкополосные антенны, работающие в диапазоне частот III; 5 – широкополосные антенны, работающие в диапазонах частот IV и V; 6 – широкополосные антенны, работающие в диапазонах частот I–III; 7 – широкополосные антенны, работающие во всех диапазонах. Вторая цифра обозначает категорию сложности условий приема: 1 – наиболее легкая, 2 – средней степени сложности, 3 – наиболее сложная. Третья цифра обозначает номер частотного канала, в полосе которого работает антенна. Четвертая цифра указывает на порядковый номер разработки.

Многие предприятия выпускают телевизионные антенны для индивидуального и коллективного пользования (цвет. вкладка 1–4). Индивидуальные антенны устанавливаются в доме и подключаются к одному или нескольким телевизорам. Коллективные антенны используют для систем коллективного приема программ телевидения. Сигнал, принятый от одной или нескольких антенн, после распределения (при необходимости и после усиления) используется большим числом абонентов.

Большое распространение получили телевизионные индивидуальные наружные антенны типа «волновой канал».

«СИГНАЛ-1 (2–5)» АТИГ(В)-1.1.1.15-1.1.5.15

Антенны телевизионные приемные наружные для индивидуального пользования, предназначены для приема одного из телевизионных каналов, передаваемых с горизонтальной (вертикальной) поляризацией в зоне уверенного приема телевизионных сигналов. Общий вид представлен на рис. 26.

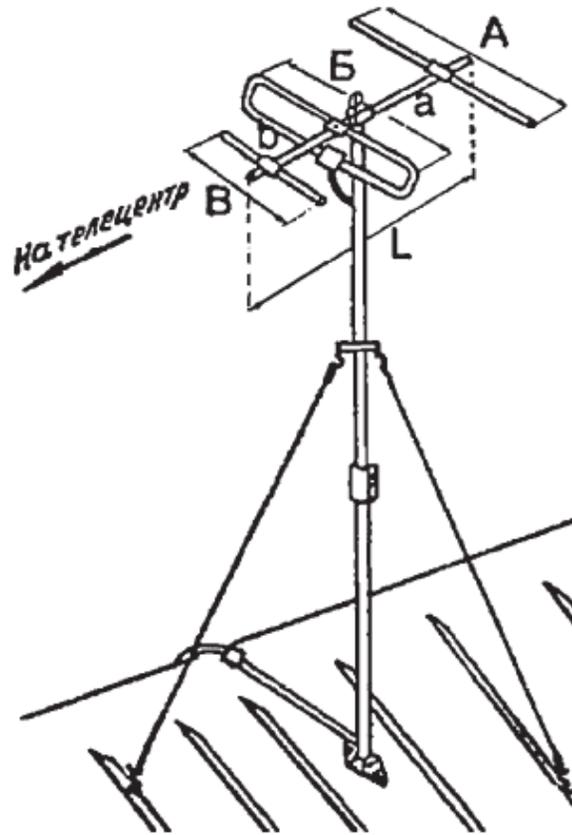


Рис. 26

«СИГНАЛ-6» АТИГ(В)-4.1.6-12.15

Антенна телевизионная приемная наружная для индивидуального пользования, предназначена для приема сигналов телевидения, передаваемых с горизонтальной (вертикальной) поляризацией в полосе частот 174–230 МГц (каналы с 6-го по 12-й) в зоне уверенного приема. Общий вид представлен на рис. 27.

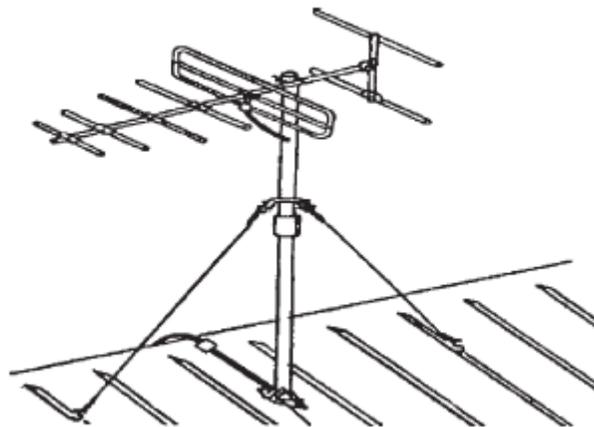


Рис. 27

Для подключения коаксиального кабеля к симметричному петлевому вибратору рассмотренных выше антенн и согласования его применяют антенные коробки типа АК-1 либо АК-2, имеющие в своем составе фильтр сложения телевизионных каналов I, II и III метрового диапазона.

«ГАММА» АТИГ(В)-5.2.21-41.19

Антенна телевизионная приемная наружная для индивидуального пользования предназначена для приема сигналов телевидения, передаваемых с горизонтальной (вертикальной) поляризацией в полосе частот 470–638 МГц (каналы с 21-го по 41-й) в зоне уверенного приема. Общий вид антенны «ГАММА» представлен на рис. 28.

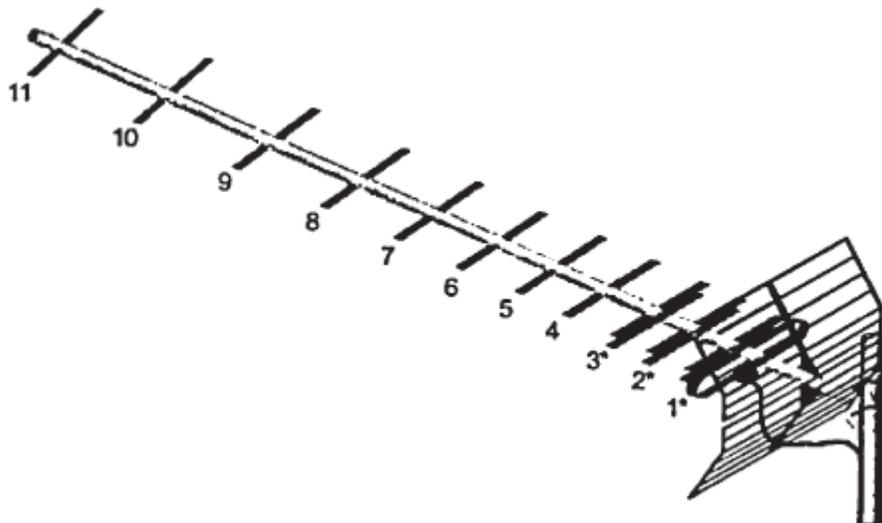


Рис. 28

Кабель снижения подключается к петлевому вибратору с помощью симметрирующего устройства, выполненного в виде эквивалента полуволновой кабельной петли, размещенного в корпусе присоединителя кабельного ПАК-Д.

Антенны спутникового телевизионного вещания

Спутниковое телевидение на сегодняшний день завоевало массу поклонников и прочно вошло в нашу жизнь как гарант свободы выбора услуг и их качества. В настоящее время оно уже не является новинкой в мире информационных технологий и становится все более доступным широкому кругу пользователей, постепенно вытесняя «классическое» эфирное телевизионное вещание и становясь достойным «конкурентом» кабельному. Так, спутниковое телевидение не только открывает уникальную возможность просмотра массы новых каналов, но и позволяет существенно повысить качество трансляции национальных каналов. Вот оно – непревзойденное цифровое качество!

После установки спутниковой антенны можно не беспокоиться, что любимый фильм прервется из-за погодных условий и других коллизий! Спутниковое телевидение использует антенну как механизм, способный передать и принять сигнал.

Кино, музыка, мультфильмы, детские каналы, новостные и развлекательные каналы, ночные каналы для взрослых, познавательные и развлекательные, русскоязычные и иностранные – все это и многое другое откроет для вас мир спутникового телевидения. А малое количество рекламы и невысокая абонентская плата (или в ряде случаев ее отсутствие) будет приятным весомым плюсом к установке и отладке оборудования для просмотра каналов.

В журнале «Теле-Спутник» – наиболее популярном периодическом издании по спутниковому и кабельному телевидению – приведены сведения только о части спутников из большого ряда космических аппаратов, осуществляющих телевизионное вещание. В действительности их гораздо больше, и все они находятся на геостационарной орбите, расположенной в плоскости экватора Земли. Это единственная круговая орбита с радиусом 35 786 км, находясь на которой спутник кажется земному наблюдателю неподвижным при условии, что угловая скорость вращения спутника вокруг земной оси совпадает с угловой скоростью вращения Земли вокруг своей оси. Если спутниковая антенна правильно настроена на прием со спутника, расположенного на геостационарной орбите, и надежно закреплена, в дальнейшем корректировать ее положение не потребуется. Спутники, размещенные на других орбитах, не будут неподвижными относительно Земли, и для приема их сигналов необходима специальная конструкция поворотного узла антенны и управляющая им следящая система.

На современном этапе развития нашего общества каждая технически развитая страна стремится разместить свои телевизионные спутники на геостационарной орбите, что вызывает определенные технические сложности, обусловленные нехваткой места на орбите. Поэтому спутники группируют, например, под названием спутника «HotBird» подразумевается ряд близко (порядка 100 км), по космическим меркам, расположенных друг от друга космических аппаратов, занимающих орбитальную позицию примерно 13° восточной долготы.

Территорию Украины «освещают» многие спутники, однако большинство из них создают малую плотность потока мощности. Наибольший интерес для нас, жителей Украины, представляют спутники, с которых ведется трансляция национальных телеканалов.

лов, а также телеканалов России, прием которых возможен на спутниковые антенны небольших размеров.

На Украине самой востребованной спутниковой системой является тройная система «Hotbird – Sirius– Amos», которая обеспечивает прием на одну спутниковую антенну диаметром 0,9 м сигналов сразу с трех спутников. Из 500 свободно принимаемых каналов для нас наибольший интерес представляют каналы на украинском и русском языках. Приведем список некоторых каналов, работающих по тройной системе:

Украинские каналы: 24-новости, 5 канал, 1+1, 1+1 internat, 1+1 кино, Интер, ТЕТ, СТБ, Новый канал, ТОНИС, К1, К2, ТРК Киев, УБК, КРТ, Мегаспорт, Энтер-фильм, Рада, ОСК, ОТV, Энтер, М1, М2-эстрада, Star TV, MTV Украина, Music Box Ukraine.

Российские (русскоязычные) каналы: ОРТ-межд., РТР – планета, РЕН-ТВ, Вести, Euronews, R1 (первый российский канал), Сарафан, К+, РБК-TV, ТВ-5, Планета спорт, Travel, Jetix, Romantica, Adjara, RU TV, 1 балтийский музыкальный, Music Box RU, LUX TV.

Если к описанной выше тройной системе добавить еще одну спутниковую антенну, направленную на спутник ABS 1, занимающий позицию 75° восточной долготы, можно принять еще десяток российских каналов. Эту антенну имеет смысл установить даже для приема одного канала НТВ, входящего в список каналов спутника.

Вот список главных открытых каналов спутника ABS 1: НТВ, НТВ0+3, Зоопарк, Иллюзион+, СТС, ДТВ, телеканал 2*2, Мир, ТВ XXI, TV Club, Gameplay TV, РБК-ТВ, Fashion TV Russia.

Основные принципы спутникового телевизионного вещания

Поскольку все спутники находятся в плоскости экватора, географическая широта у них равна нулю, а различаются они по долготе. Нулевой меридиан, как известно, проходит через Лондон. Телевизионный спутник имеет свою диаграмму направленности и выводится в заданную точку орбиты с целью обслуживания определенной территории поверхности Земли. Поскольку на каждом космическом аппарате устанавливается несколько транспондеров (приемопередатчиков), каждый из которых способен передавать в одном потоке несколько телепрограмм, общее количество транслируемых каналов может измеряться десятками.

Передатчик спутника, находящегося на геостационарной орбите без остронаправленной антенны, может обеспечить телевизионным вещанием около трети поверхности Земли. Однако из-за того, что мощность передатчика ограничена находящимися на спутнике источниками питания (солнечными батареями) и достигает обычно нескольких сот ватт, плотность потока мощности, падающей на Землю, оказывается недостаточной для приема сигналов. В то же время большая часть мощности передатчика тратится на облучение необитаемых областей (морей, океанов, пустынь, тундры и т. п.). Для повышения плотности потока мощности и возможности приема на небольшие приемные антенны излучаемая передатчиком спутника мощность концентрируется антенной в узком «луче» (около 1), направленном только на ту территорию, которую необходимо охватить непосредственным телевизионным вещанием (рис. 29). Благодаря этому плотность потока мощности возрастает до вполне приемлемых значений.



Рис. 29

Для наглядности спутник можно представить как «зависший» в ночном небе над экватором прожектор или группу прожекторов, которые освещают часть поверхности Земли. При этом, в зависимости от площади освещаемой поверхности, лучи этих прожекторов бывают узкими, зонными, региональными, глобальными и т. д. Наибольшая плотность электромагнитных волн достигается в центре луча. Кроме этого, в зависимости от того, сигнал какой мощности достигает поверхности Земли в месте установки антенны, выбирается размер зеркала спутниковой антенны. Чем сильнее мощность сигнала, тем меньший диаметр зеркала необходим. Таким преимуществом обладает узкий луч. Чем шире зона охвата, тем меньше плотность потока мощности у поверхности Земли. Например, чтобы принять в Киеве телепрограммы глобального луча спутника «Intelstat 905» ($27,5^\circ$ западной долготы), охватывающего всю видимую с него часть поверхности Земли, требуется антенна диаметром не менее 3 м.

Географические границы зон возможного приема находят в результате проецирования основного луча диаграммы направленности антенны на шаровую поверхность Земли. Границы выглядят в виде эллипсов (рис. 30).

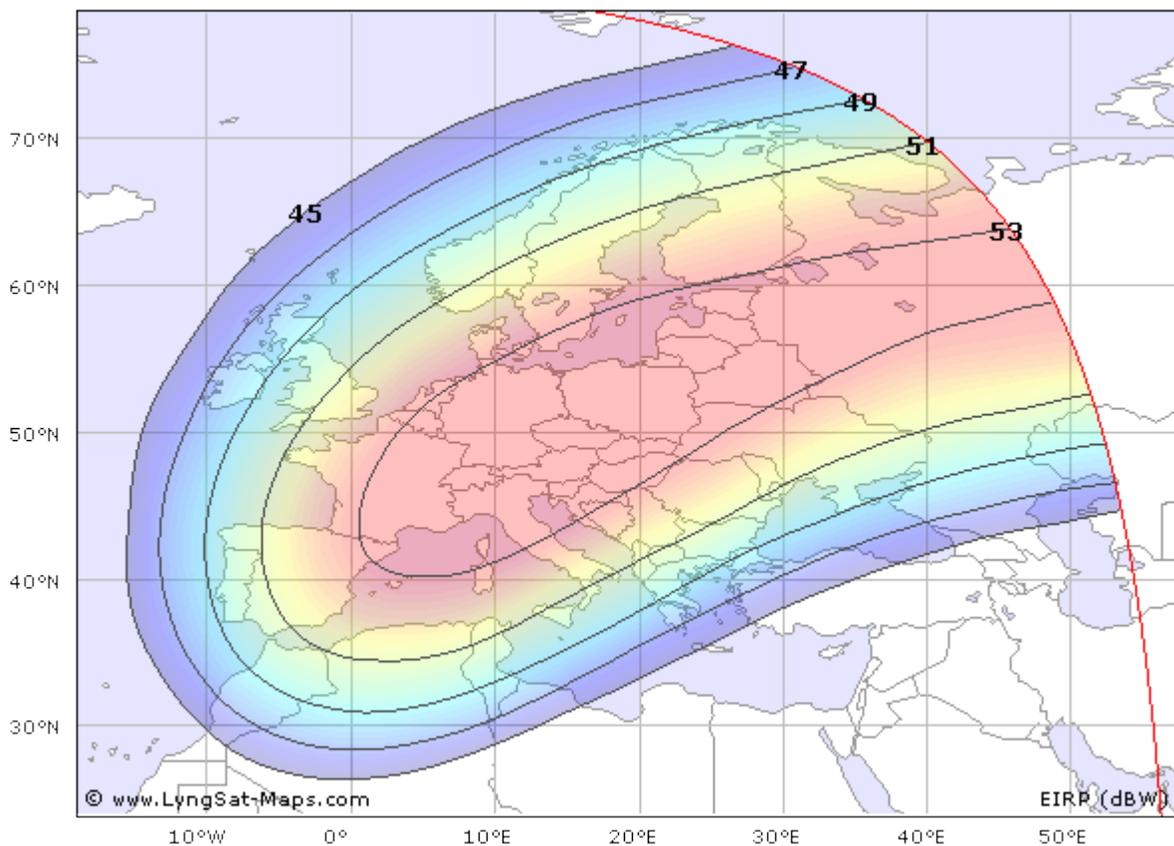


Рис. 30

Антенны спутникового телевизионного вещания, расположенные на искусственных спутниках Земли (ИСЗ)

Спутниковые системы связи являются одним из основных видов дальней связи. Связь между объектами, расположенными на расстояниях от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч километров друг от друга, осуществляется на сантиметровых волнах при помощи ИСЗ, применяемых в качестве активных или пассивных ретрансляторов. На сантиметровых и дециметровых волнах производится также связь с космическими кораблями, удаленными от Земли на сотни миллионов километров.

Для повышения пропускной способности спутниковых систем связи, кроме ранее уже использовавшегося частотного диапазона 4–6 ГГц, в настоящее время осваиваются новые диапазоны 11–14, 12–18 и 20–30 ГГц.

Допустимый уровень излучения в сторону Земли бортовых антенн ИСЗ ограничен из-за недопустимости излучения в этом направлении мощных сигналов, которые могут создать помехи другим радиотехническим системам. Сигналы, приходящие от космических кораблей, весьма слабы из-за очень большой удаленности их источников.

Из-за малой ширины диаграммы направленности при изменении положения ИСЗ необходимо обеспечить весьма высокую точность наведения луча антенны на эти объек-

ты и непрерывное их сопровождение. Для этого антенны снабжаются поворотными устройствами и системами управления ими.

Тип приемно-передающей антенны, установленной на ИСЗ, выбирают с учетом требований, связанных с построением и энергетическим потенциалом линии связи, диапазоном рабочих частот и полосой пропускания, условиями работы в космосе, стабилизацией ИСЗ и т. п.

На первых ИСЗ использовались слабонаправленные малогабаритные антенны. На ИСЗ, выведенных на геостационарную орбиту, с которой угловой размер Земли составляет примерно 20° , применялись антенны с шириной диаграммы направленности $\Theta_{0,5} = 20\text{--}25^\circ$ и коэффициентом усиления примерно 6-17 дБ.

На ИСЗ, находящихся на орбите средней высоты (5-10 тыс. км), применялись почти ненаправленные (изотропные) антенны с круговой поляризацией поля (турникетные, спиральные, щелевые).

Недостаток усиления бортовых антенн компенсировался использованием больших наземных антенн с высоким коэффициентом усиления. С увеличением общих размеров ИСЗ появилась возможность применять более направленные антенны, коэффициент усиления которых достигает 30–35 дБ и более. К таким, в частности, относятся параболические (однозеркальные и двухзеркальные) антенны.

Одним из основных направлений в конструировании бортовых антенн является создание складных антенн, раскрывающихся после вывода космического аппарата на орбиту. Современные конструкции антенных систем ИСЗ решают следующие задачи:

- обеспечение эффективного облучения только заданной области земной поверхности путем формирования диаграммы направленности специальной формы;
- обеспечение возможности повторного (многократного) использования рабочих частот за счет пространственного разнеса диаграмм направленности и поляризационного разделения;
- ослабление излучения вне зоны обслуживания с тем, чтобы уровни поля на основной и кроссполяризации соответствовали нормам Международного Консультативного Комитета по Радио (МККР);
- коэффициент направленного действия антенны должен при заданной мощности бортового передатчика обеспечивать необходимый для нормального приема уровень напряженности электрического поля;
- размеры спутниковых антенн в процессе их вывода на орбиту должны позволять их размещение в обтекателе ракеты-носителя;
- антенны должны иметь малую массу и сохранять работоспособность в условиях глубокого вакуума, выдерживать, не изменяя геометрической формы, солнечное излучение и т. п. Для изготовления антенны на ИСЗ используются алюминий, титан, инвар и композиты. Так, например, графитэпоксидные композиты обладают хорошими механическими свойствами, близким к нулю коэффициентом линейного расширения, малым удельным весом и большой жесткостью.

Эти задачи могут решаться применением многолучевых антенн, к которым в последнее время проявляется значительный интерес. Используя диапазон частот 20–30 ГГц и обладающие большим усилением многолучевые антенны, можно значительно снизить

мощность бортовых передатчиков ИСЗ и наземных станций и уменьшить диаметры раскрывов антенн.

В качестве бортовых многолучевых антенн применяются зеркальные, линзовые и фазированные антенные решетки (ФАР). Основным преимуществом зеркальных многолучевых антенн является их сравнительно невысокая стоимость, простота облучающей системы, небольшая масса, простота конструкции. Коэффициент усиления (КУ) таких антенн изменяется от 27–30 дБ в диапазоне 4–6 ГГц (при диаметре раскрыва 1–2,5 м) до 45 дБ в диапазоне 30 ГГц. Антенны имеют высокую развязку по поляризации (не менее 35 дБ).

Основными направлениями в области развития антенн систем спутниковой связи являются:

- использование многолучевых бортовых антенн и увеличение их размеров (в дальнейшем предполагается большие многолучевые антенны создавать на крупногабаритных орбитальных конструкциях);
- увеличение коэффициента усиления (примерно до 55 дБ);
- снижение уровня боковых лепестков и уровня кроссполяризации поля;
- использование адаптивных антенн;
- уменьшение размеров и стоимости антенн наземных станций;
- применение электронного сканирования.

Приемные антенны

Прием сигналов спутникового телевидения осуществляется специальными приемными устройствами, основной частью которых является антенна, которая бывает различных конструкций. Среди этих антенн получили распространение и планарные антенны, основой которых служит решетка диполей с рефлектором в виде металлического листа, то есть так называемая фазированная антенная решетка (ФАР). Улавливаемые диполями сигналы суммируются и поступают на вход конвертера. Регулируя фазовращателем фазу и амплитуду сигнала, принятого каждым диполем, можно сформировать суммарную диаграмму направленности, как неподвижную, так и изменяющую направление приема – сканирующую. Безинерционное мгновенное электронное сканирование с применением системы слежения позволяет устанавливать такие антенны на подвижных объектах (самолете, ракете или нестационарном спутнике). При этом число электронных фазовращателей равно числу применяемых диполей, из-за чего такие антенны оказываются очень дорогими и применяются лишь в радиолокационной и космической технике, где их большая стоимость может быть оправдана.

Особую популярность и широкое распространение для осуществления приема сигналов со спутников получили в настоящее время так называемые зеркальные антенны.

К зеркальным антеннам относится достаточно широкий класс антенн, в которых формирование диаграммы направленности происходит за счет отражения электромагнитных волн первичных источников – облучателей от металлических зеркал той или иной формы. В простейшем случае зеркало может представлять собой плоскую металлическую пластину достаточно больших размеров. Такая пластина играет роль рефлектора, благодаря которому излучение будет происходить преимущественно по направлению нормали к поверхности зеркала. Несколько более сложным является зеркало в виде

двух плоских металлических пластин, чаще всего образующих прямой двугранный угол. Вместе с облучателем, представляющим собой симметричный вибратор, такое зеркало образует так называемую уголковую антенну. Вибратор обычно устанавливается в плоскости биссектрисы двугранного угла, образованного пластинами зеркала, параллельно его ребру. Хорошими направленными свойствами обладают антенны с зеркалом в виде параболоида вращения. Такие антенны имеют узкую диаграмму направленности в двух плоскостях, которая называется диаграммой направленности игольчатого типа. Если нужно иметь антенну, диаграмма направленности которой достаточно узкая в одной плоскости и широкая в другой плоскости, перпендикулярной первой, то в качестве зеркала можно использовать усеченный параболоид вращения. Однако в такой антенне трудно получить диаграмму направленности с большой разницей в ширине диаграмм направленности в одной и другой главной плоскости. Поэтому для реализации «веерной» диаграммы направленности чаще используется зеркало в виде параболического цилиндра с линейным облучателем.

Все приемные антенны собирают энергию сигнала, поступающего на них со спутника. В параболических антеннах фокусировка энергии на облучателе происходит по законам оптики благодаря отражению от поверхности параболического рефлектора. Для спутникового приема можно использовать однозеркальные антенны с осесимметричным или смещенным облучателем и двухзеркальные антенны по схеме Кассегрена с параболическим рефлектором и гиперболическим контррефлектором.

Обычно применяют антенны с круговой поляризацией поля. Антенны для станций телевизионного вещания, обслуживающих небольшой населенный пункт (КУ примерно 35 дБ), обычно бывают однозеркальные. С этой же целью применяют несколько многоэлементных директорных антенн, работающих в параллель (КУ примерно 21–28 дБ). Размеры (диаметр раскрыва) антенн спутникового телевидения 1–2 м.

Параболические антенны

В большинстве случаев для профессионального и любительского приема передач с ИСЗ используют зеркальные антенны, зеркало которых выполнено в виде параболоида вращения, – так называемые параболические антенны. Популярность антенн такого типа обусловлена свойством параболоида вращения отражать падающие на его апертуру (часть плоскости, ограниченная кромкой параболоида вращения) параллельные оси лучи в одну точку, называемую фокусом.

Параболоид вращения, который используется в качестве отражателя антенны, образуется вращением плоской параболы вокруг ее оси. Параболой называется геометрическое место точек, равноудаленных от заданной точки (фокуса) и заданной прямой (директрисы). На рис. 31 приведены основные параметры параболы (а), определение ее фокуса (б) и сходимость лучей в фокусе параболоида вращения (в). Точка F – фокус, линия АВ – директриса. Точка М с координатами x, y – одна из точек параболы. Расстояние между фокусом и директрисой называется параметром параболы и обозначается буквой p . Тогда координаты фокуса F следующие: $(p/2, 0)$. Начало координат (точка 0) называется вершиной параболы.

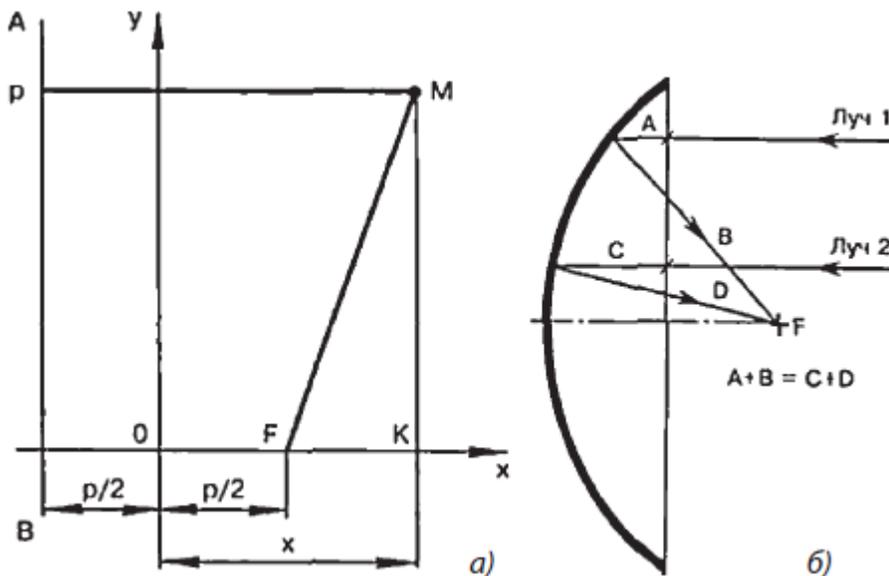


Рис. 31

По определению параболы отрезки MF и PM равны. Согласно теореме Пифагора, $MF^2 = FK^2 + MK^2$. В то же время $FK = x - p/2$, $KM = y$ и $PM = x + p/2$, тогда $(x - p/2)^2 + y^2 = (x + p/2)^2$.

Возводя в квадрат выражения в скобках и приводя подобные члены, окончательно получаем каноническое уравнение параболы:

$$y^2 = 2px, \text{ или } y = (2px)^{0,5}.$$

По этой классической формуле сделаны миллионы антенн для приема сигналов спутникового телевидения. Чем же заслужила внимание данная антенна?

Параллельные оси параболоида, лучи (радиоволны) от спутника, отраженные от апертуры к фокусу, проходят одинаковое (фокусное) расстояние. Условно два луча (1 и 2) падают на площадь раскрыва параболоида в разных точках (рис. 31б). Однако отраженные сигналы обоих лучей проходят к фокусу F одинаковое расстояние. Это означает, что расстояние $A + B = C + D$. Таким образом, все лучи, которые излучает передающая антенна спутника и на которую направлено зеркало параболоида, концентрируются синфазно в фокусе F. Этот факт доказывается математически (рис. 31в).

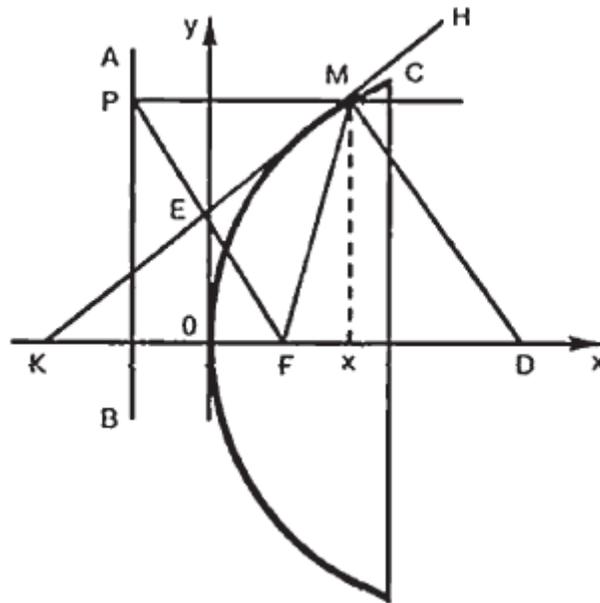


Рис. 31в

Выбор параметра параболы определяет глубину параболоида, то есть расстояние между вершиной и фокусом. При одинаковом диаметре апертуры короткофокусные параболоиды обладают большой глубиной, что делает крайне неудобным установку облучателя в фокусе. Кроме того, в короткофокусных параболоидах расстояние от облучателя до вершины зеркала значительно меньше, чем до его краев, что приводит к неравномерности амплитуд у облучателя для волн, отразившихся от кромки параболоида и от зоны, близкой к вершине.

Длиннофокусные параболоиды имеют меньшую глубину, установка облучателя является более удобной, и амплитудное распределение становится более равномерным. Так, при диаметре апертуры 1,2 м и параметре 200 мм глубина параболоида равна 900 мм, а при параметре 750 мм – всего 240 мм. Если параметр превышает радиус апертуры, фокус, в котором должен находиться облучатель, располагается вне объема, ограниченного параболоидом и апертурой. Оптимальным считается вариант, когда параметр несколько больше, чем радиус апертуры.

Спутниковая антенна – единственный усиливающий элемент приемной системы, который не вносит собственных шумов и не ухудшает сигнал, а следовательно, и изображение. Антенны с зеркалом в виде параболоида вращения делятся на два основных класса: симметричный параболический рефлектор и асимметричный. Первый тип антенн принято называть прямофокусными, второй – офсетными. Принцип работы (фокусировки) прямофокусной (осесимметричной) и офсетной (асимметричной) антенн показан на рис. 32 а и 32б соответственно.

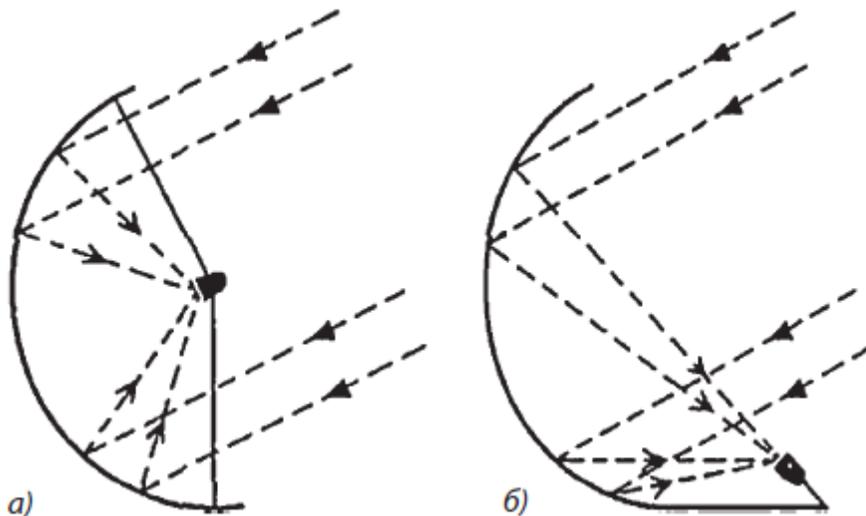


Рис. 32

Офсетная антенна представляет собой вырезанный сегмент параболы. Фокус такого сегмента расположен ниже геометрического центра антенны. Такое устройство антенны устраняет затенение ее полезной площади облучателем и его опорами, что приводит к существенному повышению ее коэффициента полезного использования по сравнению с осесимметричной антенной при одинаковой площади их зеркал. К тому же облучатель офсетных антенн установлен ниже их центра тяжести, что увеличивает тем самым ее устойчивость при ветровых нагрузках.

Именно такая конструкция антенны является наиболее популярной для индивидуального приема спутниковых телепередач, хотя нередко используются и другие принципы построения наземных спутниковых антенн.

Офсетные антенны целесообразно использовать, если для устойчивого приема программ выбранного спутника необходим размер антенны до 1,5 м, так как с увеличением общей площади антенны эффект затенения зеркала становится менее значительным.

Офсетная антенна крепится почти вертикально. В зависимости от географической широты угол ее наклона немного меняется. Такое положение исключает собирание в чаше антенны атмосферных осадков, которые сильно влияют на качество приема.

Основные параметры. Одной из важнейших характеристик наземных антенн является величина отношения коэффициента усиления антенн (G) к суммарной шумовой температуре (T_{Σ}) на входе приемного устройства. Очевидно, что для увеличения отношения G/T_{Σ} (коэффициент шумовой добротности приемного устройства) следует увеличивать коэффициент усиления антенны и уменьшать суммарную шумовую температуру $T_{\Sigma} = T_y + T_{mp} + T_a$. Здесь T_y – шумовая температура малошумящего усилителя (МШУ), к которому присоединена антенна (обычно $T_y \sim 40-60\text{K}$); T_{mp} – шумовая температура СВЧ-тракта, соединяющего антенну с малошумящим усилителем; T_a – эквивалентная антенная шумовая температура. Все три составляющие соизмеримы, и для увеличения отношения G/T_{Σ} , при заданном значении G (а значит, и размере антенны) следует уменьшать составляющие T_{mp} и T_a . Уменьшение T_{mp} достигают, помещая МШУ как можно ближе к облучателю, то есть сокращая длину тракта питания антенны, либо заменяя волновод-

ный тракт лучеводом – системой перископических зеркал между облучателем и малым зеркалом, что существенно снижает потери в тракте питания.

Антенная температура T_a растет при уменьшении угла места Δ (угол между направлением максимального излучения и горизонтальной плоскостью) из-за увеличения поглощения радиоволн в прилегающих к Земле слоях атмосферы и приема шумов теплового излучения Земли. Для уменьшения влияния шумов Земли необходимо обеспечить низкий уровень боковых лепестков антенны. Это позволяет при $\Delta = 5-7^\circ$ в диапазоне 4–6 ГГц достаточно сильно подавлять шумы Земли, поскольку их прием происходит через боковые лепестки, близкие к максимуму. Кроме того, при уменьшении угла Δ путь от ИСЗ до антенны, проходящий в плотных слоях атмосферы, удлиняется, что ведет к увеличению шумов, порождаемых потерями в атмосфере. В высокочастотных диапазонах 11–14 и 20–30 ГГц ввиду существенного возрастания потерь в атмосфере минимальный рабочий угол места Δ увеличивается до 10° .

Имеются факторы, препятствующие увеличению коэффициента усиления антенны путем увеличения ее размеров. Это, во-первых, влияние случайных ошибок в выполнении поверхности зеркала, вызывающих расширение главного лепестка диаграммы направленности и увеличения уровня боковых лепестков, что приводит к снижению коэффициента усиления, увеличению T_a и ухудшению помехозащищенности. Для уменьшения этих вредных эффектов у антенн диапазонов 11–14 и 20–30 ГГц существенно повышена точность выполнения поверхности (среднеквадратическое отклонение формы поверхности зеркала от заданной составляет десятые или даже сотые доли миллиметра, что соответствует относительному допуску $10^{-4}-10^{-5}$). Очевидно, что повысить точность выполнения зеркала тем труднее, чем больше его размеры. В большинстве случаев считается, что отклонения от синфазного поля могут лежать в пределах от $-\pi/4$ до $+\pi/4$.

Вторым фактором, ограничивающим возможность увеличения размеров, является осуществимая точность наведения луча на ИСЗ. При недостаточной точности наведения связь осуществляется через круто спадающие участки диаграммы направленности, что приводит к значительным потерям усиления. Поэтому максимальный диаметр раскрыва зеркала $2R_0$ следует выбирать с учетом технико-экономических факторов, определяющих реализуемую точность наведения, а также соответствующих этой точности потерь усиления.

Допуск на точность установки облучателя на фокальной оси зеркала должен соответствовать условию, что отклонение от синфазного распределения не превышает $\pi/4$. Это соответствует тому, что $|\Delta Z| < \lambda/8(1-\cos\psi_0)$ (рис. 33).

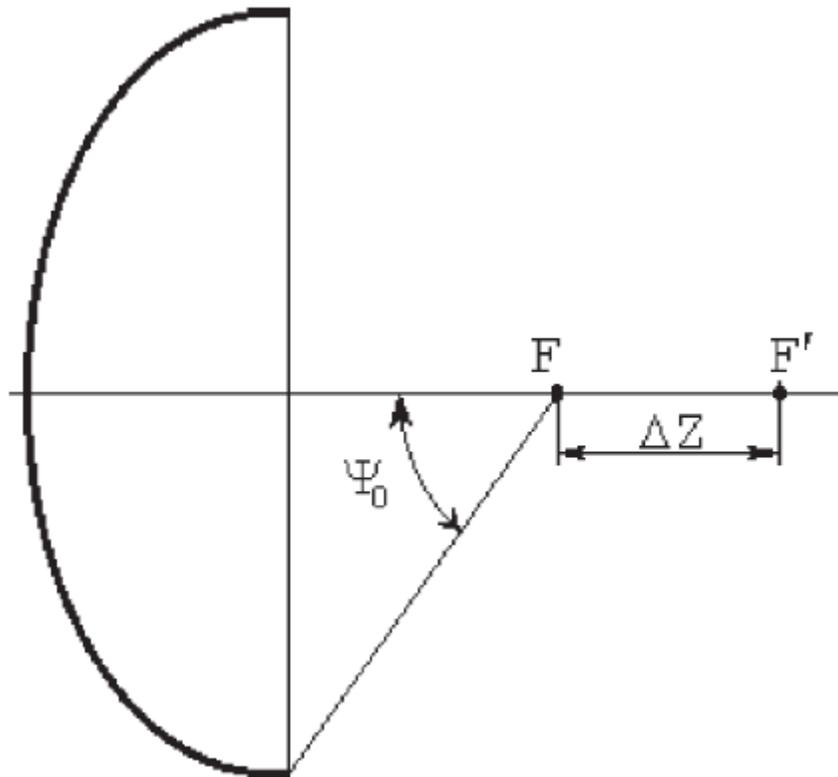


Рис. 33

Таким образом, при постоянном диаметре зеркала с ростом фокусного расстояния (что приводит к уменьшению угла ψ_0) требуемая точность в установке облучателя снижается. Такой вывод имеет важное значение для практики, если речь идет, например, об установке облучателя, который не имеет фазового центра.

Из-за неточности в установке облучателя он может оказаться смещенным из фокуса не только по оси зеркала, но и в направлении, перпендикулярном этой оси. Такое смещение приводит к повороту диаграммы направленности антенны, при этом отклонение происходит в сторону, противоположную смещению облучателя.

Максимальное значение ρ , определяемое краем зеркала, называется радиусом раскрыва зеркала ρ_0 , а плоская поверхность, ограниченная краем зеркала, называется раскрывом параболического зеркала (рис. 34). Наряду с радиусом раскрыва можно говорить о диаметре зеркала, который будем обозначать через D_r , так что $D_r = 2\rho_0$. Пусть значению $\rho = \rho_0$ соответствует угол $\psi = \psi_0$. Угол $2\psi_0$ называется углом раскрыва зеркала. Если угол раскрыва меньше 180° , зеркало называется короткофокусным (рис. 34а). Для длиннофокусных зеркал $\rho_0 < 2\psi_0$; для короткофокусных зеркал $\rho_0 > 2\psi_0$. По ряду причин в антеннах применяются главным образом длиннофокусные зеркала.

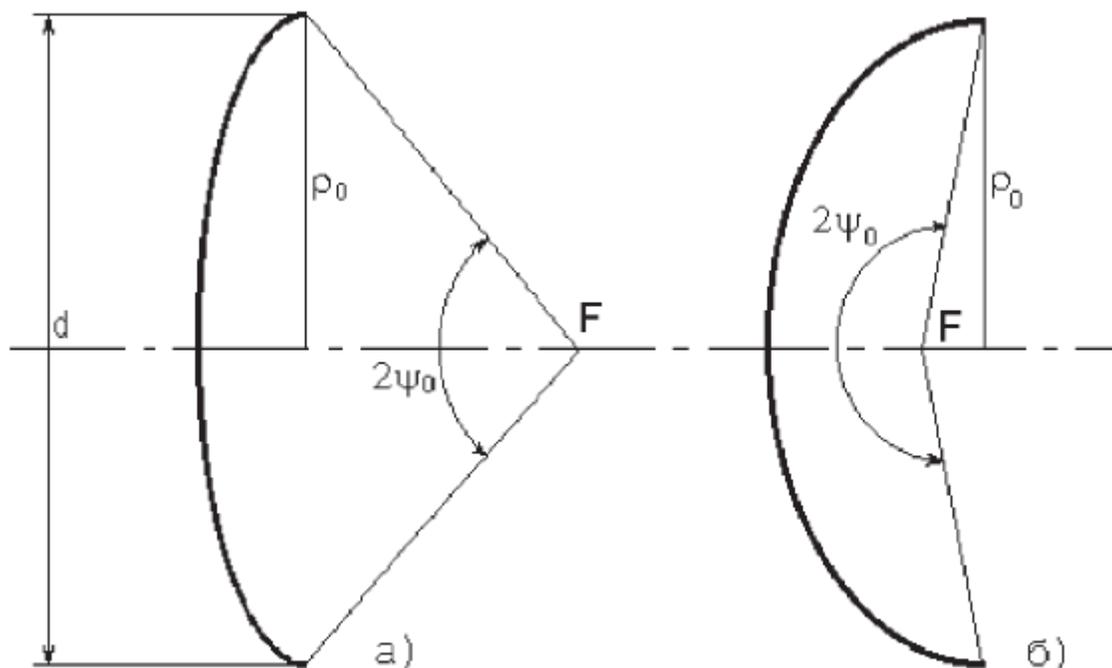


Рис. 34

Коэффициент направленного действия D к направлению максимального излучения рассчитывается по формуле $D = 4\pi k F / \lambda^2$, где F – поверхность раскрыва параболоида, равная $F = \pi \rho_0^2$ (ρ_0 – диаметр зеркала).

Множитель k является коэффициентом использования поверхности раскрыва параболоида. В случае, когда облучателем является элементарный вибратор с рефлектором, было показано, что имеется оптимальное отношение $\rho_0/f = 1,3$ (f – фокусное расстояние), при котором k и, следовательно, коэффициент направленного действия получается максимальным. При $\rho_0/f = 1,3$ величина k равна 0,83. Оптимальное значение ρ_0/f определяется следующими факторами. Часть энергии, излучаемой облучателем, проходит мимо зеркала. Количество теряемой энергии зависит от формы диаграммы направленности облучателя и от отношения ρ_0/f . При заданной форме диаграммы облучателя потери энергии увеличиваются с уменьшением отношения ρ_0/f . Оптимальная форма диаграммы облучателя приведена на рис. 35.

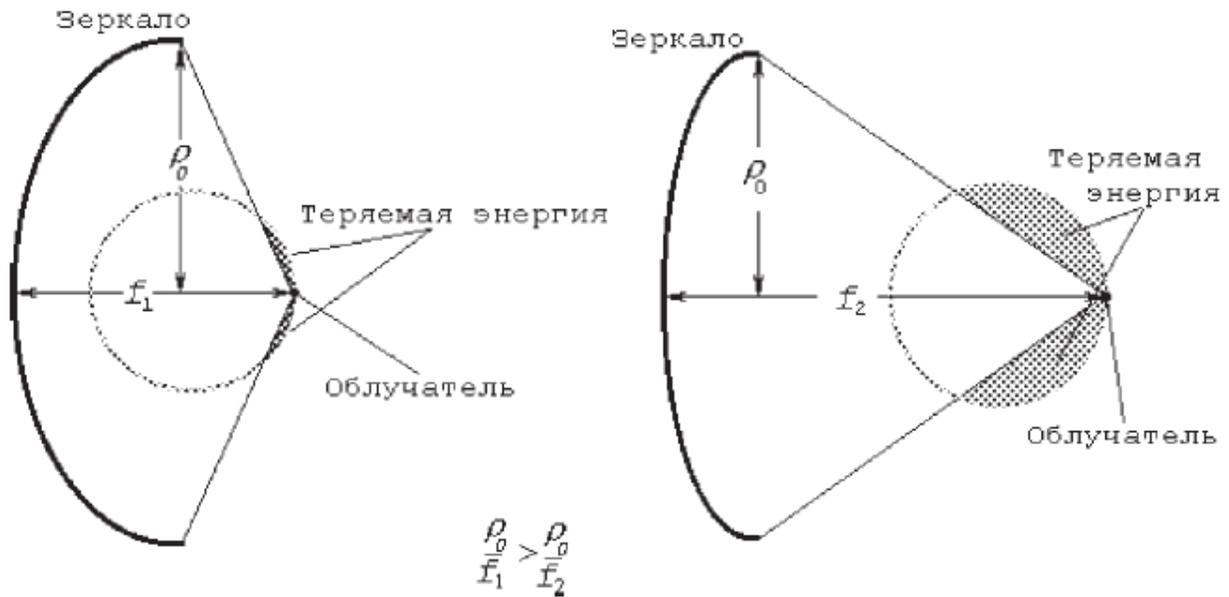


Рис. 35

Это обстоятельство приводит к уменьшению коэффициента k по мере уменьшения отношения ρ_0/f . Однако с другой стороны, уменьшение отношения ρ_0/f сопровождается увеличением равномерности облучения зеркала, что сопровождается увеличением коэффициента k . В результате действия двух указанных факторов получается оптимальное соотношение ρ_0/f , которое в случае элементарного вибратора с рефлектором равно 1,3.

η – коэффициент использования поверхности рефлектора, показывающий, какая доля мощности сигнала, собранной рефлектором, попадает в облучатель. Из формулы следует, что сигналы на выходах антенн с рефлекторами, у которых одинаковые эффективные площади в диапазонах 4 ГГц ($\lambda = 7,5$ см) и 12 ГГц ($\lambda = 2,5$ см), будут отличаться в 9 раз, однако на самом деле такого отличия нет: в свободном пространстве происходит затухание энергии электромагнитных волн, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от источника (антенны-передатчика).

Затухание L_0 растет при увеличении расстояния R и уменьшении длины волны λ электромагнитных колебаний в соответствии с формулой: $L_0 = 16\pi^2 R^2 / \lambda^2$.

Таким образом, при одинаковой площади параболических рефлекторов приемных антенн и одинаковых мощностях передатчиков сигналы на выходах антенн в диапазонах 4 и 14 ГГц будут примерно одинаковы.

Коэффициент усиления G по мощности антенны с параболическим рефлектором диаметром D_r повышается при увеличении эффективной площади рефлектора $S_{эф}$ и при уменьшении длины волны λ принимаемого сигнала. Его находят по формуле (в относительных единицах):

$$G = 4\pi S_{эф} / \lambda^2, \text{ где } S_{эф} = \eta \pi D_r^2 / 4.$$

Таким образом, коэффициент усиления параболической антенны зависит от диаметра параболоида: чем больше диаметр зеркала, тем выше коэффициент усиления.

Зависимость коэффициента усиления параболической антенны от диаметра приведена ниже:

Диаметр, мм	0,6	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
G, дБ	35,3	37,8	39,8	43,3	45,8	47,7

Роль коэффициента усиления параболической антенны можно проанализировать с помощью электрической лампочки (рис. 36 а). Свет равномерно рассеивается в окружающее пространство, и глаз наблюдателя ощущает определенный уровень освещенности, соответствующий мощности электролампочки.

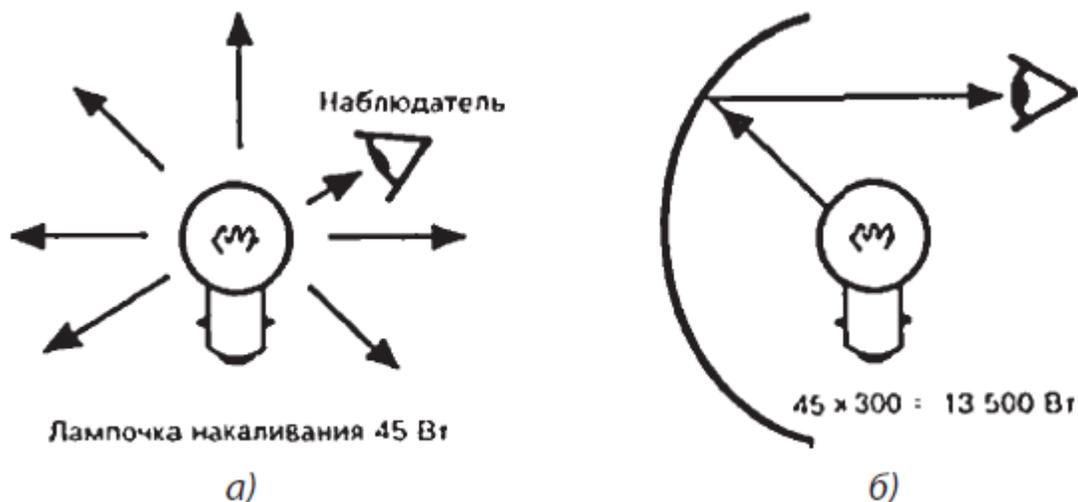


Рис. 36

Однако если источник света поместить в фокус параболоида с коэффициентом усиления в 300 раз (рис. 36б), его лучи после отражения поверхностью параболоида окажутся параллельны его оси, а сила цвета будет эквивалентна источнику мощностью 13 500 Вт. Такую освещенность глаз наблюдателя воспринять не может. На этом свойстве в частности основан принцип работы прожектора.

Таким образом, антенный параболоид, строго говоря, не является антенной в ее понимании как преобразователя напряженности электромагнитного поля в напряжение сигнала. Параболоид – это лишь отражатель радиоволн, концентрирующий их в фокусе, куда и должна быть помещена активная антенна (облучатель).

Диаграмма направленности параболической антенны, приведенная на рис. 37, характеризует зависимость амплитуды напряженности электрического поля E, создаваемого в некоторой точке, от направления на эту точку. При этом расстояние от антенны до данной точки остается постоянным.

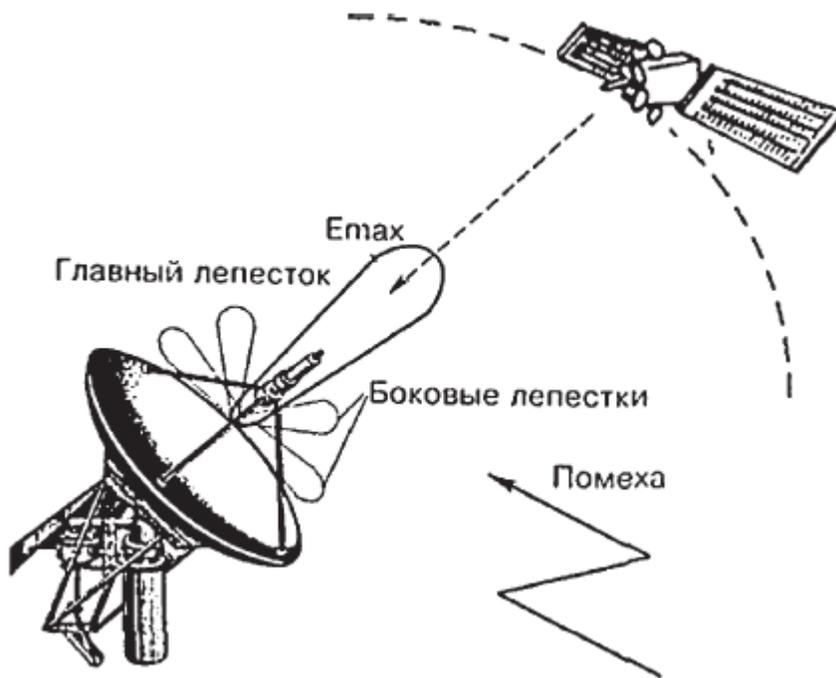


Рис. 37

Увеличение коэффициента усиления антенны влечет за собой сужение главного лепестка диаграммы направленности, а сужение его до величины менее 1° приводит к необходимости снабжать антенну системой слежения, так как геостационарные спутники совершают колебания вокруг своего стационарного положения на орбите. Увеличение ширины диаграммы направленности приводит к снижению коэффициента усиления, а значит, и к уменьшению мощности сигнала на входе приемника. С учетом этого оптимальной шириной главного лепестка диаграммы направленности является ширина в $1-2^\circ$ при условии, что передающая антенна спутника удерживается на орбите с точностью $\pm 0,1^\circ$.

Наличие боковых лепестков в диаграмме направленности также снижает коэффициент усиления антенны и повышает возможность приема помех. Во многом ширина и конфигурация диаграммы направленности зависят от формы и диаметра зеркала принимающей антенны.

Самой важной характеристикой параболической антенны является точность формы. Она должна с минимальными ошибками повторять форму параболоида вращения. Точность соблюдения формы определяет коэффициент усиления антенны и ее диаграмму направленности.

Изготовить антенну с поверхностью идеального параболоида практически невозможно. Любое отклонение реальной формы параболического зеркала от идеальной влияет на характеристики антенны. Возникают фазовые ошибки, которые ухудшают качество принимаемого изображения, снижается коэффициент усиления антенны. Искажение формы происходит и в процессе эксплуатации антенн: под воздействием ветра и атмосферных осадков; силы тяжести; как следствие неравномерного прогрева поверхности солнечными лучами. С учетом этих факторов определяется допустимое суммарное отклонение профиля антенны.

Качество материала также влияет на характеристики антенны. Для изготовления спутниковых антенн в основном используют сталь и дюралюминий.

Стальные антенны дешевле алюминиевых, но тяжелее и больше подвержены коррозии, поэтому для них особенно важна антикоррозийная обработка. Дело в том, что в отражении электромагнитного сигнала от поверхности участвует очень тонкий приповерхностный слой металла. В случае повреждения его ржавчиной значительно снижается эффективность антенны. Стальную антенну лучше сначала покрыть тонким защитным слоем какого-нибудь цветного металла (например, цинка), а затем покрасить.

С алюминиевыми антеннами этих проблем не возникает. Однако они несколько дороже. Промышленность выпускает и пластиковые антенны. Их зеркала с тонким металлическим покрытием подвержены искажениям формы за счет различных внешних воздействий: температуры, ветровых нагрузок и ряда других факторов. Кроме того, к ним легко прилипает снег, что также приводит к искажению приема телепередач.

Существуют сетчатые антенны, устойчивые к ветровым нагрузкам. К тому же они значительно меньше портят «пейзаж», особенно в исторических районах. Они имеют хорошие весовые характеристики, но плохо зарекомендовали себя при приеме сигналов Ку-диапазона (основной диапазон частот от 10,7 до 12,75 ГГц, используемых в спутниковом телевидении). Для обеспечения приема такого же качества, как при использовании антенн со сплошным зеркалом, требуется рефлектор большего диаметра. Поэтому такие антенны целесообразно использовать для приема сигналов С-диапазона.

Параболическая антенна, на первый взгляд, кажется грубым куском металла, но, тем не менее, она требует аккуратного обращения при хранении, транспортировке и монтаже. Любые искажения формы антенны приводят к резкому снижению ее эффективности и ухудшению качества изображения на экране телевизора. При покупке антенны необходимо обратить внимание на наличие искажений рабочей поверхности антенны. Иногда бывает, что при нанесении антикоррозийных и декоративных покрытий на зеркало антенны ее «ведет» и она приобретает форму пропеллера. Проверить это можно, положив антенну на ровный пол: края антенны должны везде касаться поверхности.

Технические приемы и решения

Осесимметричная антенна. При использовании длиннофокусных рефлекторов оптимального облучения их поверхности удастся достичь применением рупорных облучателей. При этом необходимо помнить, что рупоры, обладающие большим собственным углом раскрытия, имеют более узкие диаграммы направленности, а у рупоров с малым собственным углом раскрытия диаграмма направленности шире.

При использовании короткофокусных рефлекторов оптимального их облучения удастся достичь, применяя облучатели в виде рупоров, у которых собственный угол раскрытия очень мал или равен нулю. Рупором, у которого угол раскрытия равен нулю, может служить открытый конец волновода.

В качестве такой антенны удобно использовать осесимметричный параболический рефлектор (рис. 38), оборудовав его круглым волноводом из дюралюминиевых трубок. Для диапазонов 11 и 12 ГГц конвертер (смеситель, гетеродин и даже МШУ) можно выполнить в виде модулей из коротких отрезков стандартных прямоугольных волноводов, широко применяемых в радиолокационных и других СВЧ-устройствах трехсантиметрового диапазона. При этом для подключения такого конвертера к круглому волноводу антенны необходим модульный переходник, имеющий плавный переход от круглого волновода к прямоугольному. Передачи спутникового телевидения ведутся как с гори-

зонтальной, так и с вертикальной поляризацией радиоволн. Поэтому прием с той или иной поляризацией обеспечивается поворотом модуля-переходника и всего конвертера на конце круглого волновода, выведенного за заднюю поверхность параболического рефлектора.

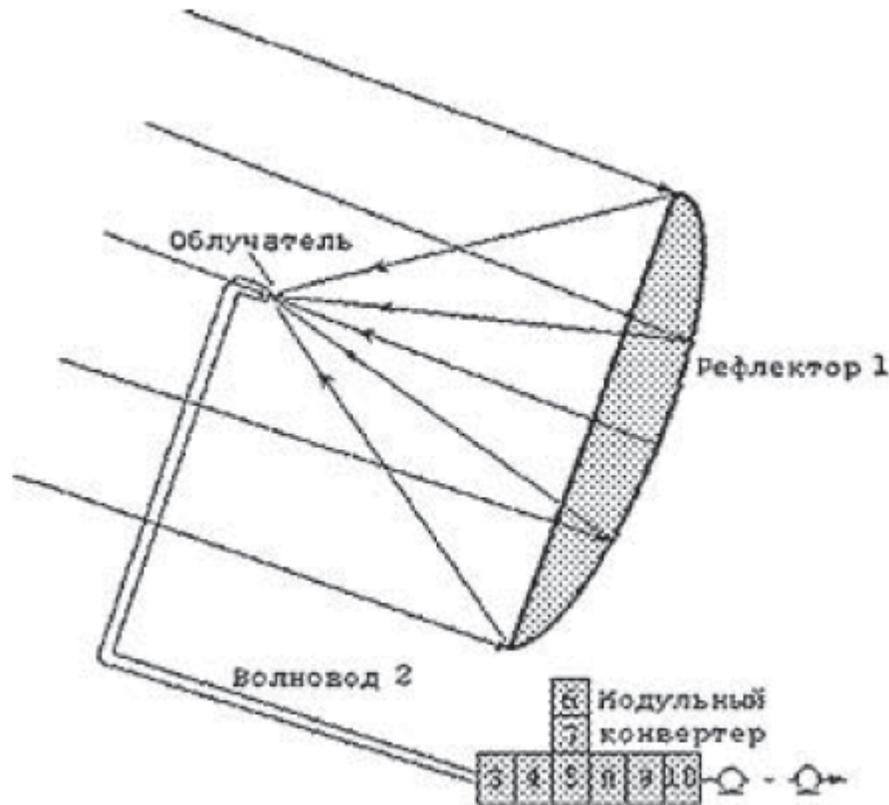


Рис. 38

В настоящее время нашли широкое распространение конструкции, в которых компактный конвертер расположен непосредственно в фокусе параболического рефлектора. Однако при расположении конвертера, состоящего из нескольких отдельных модулей, за рефлектором удобнее настраивать эти модули и экспериментировать, не затеняя некомпактным модульным конвертером, рукой или частью своего тела рабочей поверхности параболического рефлектора. В такой конструкции потери энергии принятого сигнала на коротком отрезке круглого волновода малы и ими можно пренебречь.

Как в широко распространенных конструкциях, где конвертер расположен в фокусе параболического рефлектора, так и в конструкции с волноводом между облучателем и конвертером необходимо добиваться максимального согласования облучателя с рефлектором и волноводом, а последнего – с входом конвертера, добиваясь наличия в основном режиме бегущей волны в этой цепи. С этой целью широкое применение в параболических антеннах находят рупорные облучатели, хорошо согласующиеся как с самим параболическим рефлектором, так и с волноводом или входом конвертера. Однако такие облучатели применимы лишь с длиннофокусными рефлекторами, и из-за значительного

удаления облучателя от рефлектора конструкция антенны оказывается довольно громоздкой.

Гораздо более компактной получается антенна с короткофокусным рефлектором, в котором облучатель приближен к поверхности рефлектора, но в этом случае вместо рупорных с узкой диаграммой направленности приходится применять облучатели в виде открытого конца волновода с широкой диаграммой направленности. Однако он хуже, чем рупор, согласуется с параболическим рефлектором, а в цепи волновод – конвертер неизбежно рассогласование и, как следствие этого, появление там отражений и стоячих волн.

Применение облучателя на основе круглого волновода дает возможность обеспечить сбор с рефлектора энергии радиоволн любой поляризации. Однако из-за неидеального согласования круглого волновода (круглого облучателя) с входом конвертера, построенного на основе отрезков прямоугольного волновода, также неизбежно появление дополнительных отражений и стоячих волн.

Для уменьшения потерь энергии принятого сигнала во входных цепях модульного конвертера приходится применять согласующее устройство в виде модуля-трансформатора сопротивлений (рис. 38), представляющего собой отрезок круглого волновода с изменяемой длиной. Изменяя длину этого модуля, можно достичь лучшего согласования на входе конвертера, ориентируясь на наименьшие потери полезного сигнала в этой цепи.

Приведем описание трех конструкций осесимметричных антенн с параболическим рефлекторами, имеющими различные фокусные расстояния (с длиннофокусным, со среднефокусным расстоянием и с короткофокусным). Первые две антенны выполнены с облучателями в виде открытого конца круглого волновода, а третья – по схеме Кассегрена с рупорным облучателем.

Длиннофокусная осесимметричная антенна. Наиболее простой из этих трех можно назвать параболическую осесимметричную антенну (рис. 38) с относительно длиннофокусным ($F = 0,28$ м) рефлектором диаметром 0,67 м. Угол раскрытия рефлектора $2\psi_0$ равен 118° . Диаметр круглого волновода и облучателя в виде его открытого конца рассчитан и выбран таким, чтобы диаграмма облучателя хорошо вписывалась в угол раскрытия рефлектора с целью получения максимально возможного коэффициента использования поверхности рефлектора (около 0,6). Коэффициент усиления такой антенны – около 35 дБВт, а ширина диаграммы направленности – $2,5^\circ$. Заметим, что дБВт (децибел-ватт) – единица измерения, характеризующая затухание (усиление) антенны, выраженное в децибелах, рассчитанное относительно 1 Вт мощности.

Точно такие же волновод и облучатель можно применить для рефлекторов большего диаметра с большим фокусным расстоянием, но имеющих тот же угол раскрытия. При этом коэффициент использования поверхности останется прежним, а за счет увеличения площади рефлектора усиление антенны возрастет и ширина диаграммы направленности уменьшится. Коэффициент усиления по мощности для антенны с рефлектором большего диаметра можно подсчитать по формуле $G = 4\pi S_{\phi} / \lambda^2$.

Среднефокусная осесимметричная антенна. В среднефокусной параболической осесимметричной антенне применен рефлектор от радиорелейной станции трехсантиметрового диапазона диаметром 1 м, со средним фокусным расстоянием 30 см. Большой угол раскрытия этого рефлектора ($2\psi_0 = 150$) потребовал более тщательного расчета диаметра круглого волновода, открытый конец которого служит облучателем. По приближи-

тельными оценкам коэффициент использования поверхности рефлектора этой антенны – около 0,6; коэффициент усиления – около 39 дБВт. Волновод и облучатель такой конструкции можно применить и для рефлекторов большего диаметра, но с таким же углом раскрыва. Коэффициент усиления по мощности и ширину диаграммы направленности антенны с рефлектором большего (или меньшего) диаметра можно приблизительно оценить по приведенным выше соотношениям.

Короткофокусная осесимметричная антенна. В короткофокусной антенне может быть применен короткофокусный параболический рефлектор, у которого глубина соизмерима с фокусным расстоянием, а угол раскрыва $2\psi_0$ может достигать 180° и более. Применение таких рефлекторов возможно лишь при условии наиболее полного использования их поверхности (коэффициент использования поверхности – в пределах 0,6–0,7). Это, в свою очередь, диктует необходимость создания облучателей с углом диаграммы направленности, равным углу раскрыва примененного короткофокусного параболического рефлектора. Так как конструирование таких облучателей вызывает целый ряд непреодолимых трудностей, то приходится применять вспомогательное зеркало, то есть строить двухзеркальную антенну по схеме Кассегрена (рис. 39).



Рис. 39

Интересно отметить, что двухзеркальная антенна с гиперболическим контррефлектором названа именем Кассегрена, применившего в 1672 году такую систему для сбора энергии световых лучей от удаленных небесных светил, то есть в качестве телескопа. Ранее, в 1663 году, Грегори предложил вариант двухзеркального телескопа с основным параболическим рефлектором и эллипсоидным контррефлектором. По схеме Грегори строятся лишь длиннофокусные двухзеркальные антенны, в которых к тому же требует-

ся более высокая точность исполнения контррефлектора, чем в антенне по схеме Кассегрена.

Двухзеркальная антенна. Полностью собрать энергию принятого сигнала с поверхности короткофокусного параболического рефлектора с большим углом раскрыва одним облучателем не удастся. Это можно обеспечить, применив дополнительное гиперболическое зеркало (контррефлектор) (рис. 39). Вспомогательное зеркало (контррефлектор) представляет собой симметрично усеченный гиперболоид вращения, один фокус O_1 которого должен совпадать с фокусом F параболического рефлектора. Во втором фокусе O_2 второй мнимой ветви гиперболоида располагают облучатель, в качестве которого использована рупорная антенна круглого сечения с не столь большим собственным углом диаграммы направленности. Он рассчитан так, чтобы облучалась лишь поверхность гиперболического контррефлектора.

Несмотря на то что контррефлектор создает значительное затемнение для падающих на рефлектор лучей принимаемого сигнала, коэффициент использования поверхности рефлектора за счет эффективного сбора с него энергии оказывается довольно высоким (0,6–0,7). С контррефлектора энергия собирается рупорным облучателем с относительно малым углом раскрыва. Кроме того, такой двухэтапный сбор энергии приводит к более плавному, а следовательно, и более полному согласованию облучателя с основным рефлектором. Это, казалось бы, должно существенно уменьшить стоячие волны. Однако отраженные от входа конвертера волны, попадающие на центральную часть контррефлектора, не уходят в свободное пространство, из-за чего уровень стоячих волн увеличивается.

Если в двухзеркальной антенне, широко использовавшейся в радиолокационных системах на частотах 4 ГГц, применен параболический рефлектор диаметром 1,5 м с глубиной и фокусным расстоянием 0,38 м и углом раскрыва 180° , то коэффициент усиления антенны на частоте 11 ГГц окажется равным не менее 43 дБВт при ширине диаграммы направленности $1,2^\circ$ и коэффициенте использования поверхности основного рефлектора около 0,6.

Неосесимметричная антенна. В параболических неосесимметричных антеннах вынесенный облучатель и конвертер находятся в стороне от падающего на рефлектор потока мощности принимаемого сигнала и не создают затемнения (рис. 40).

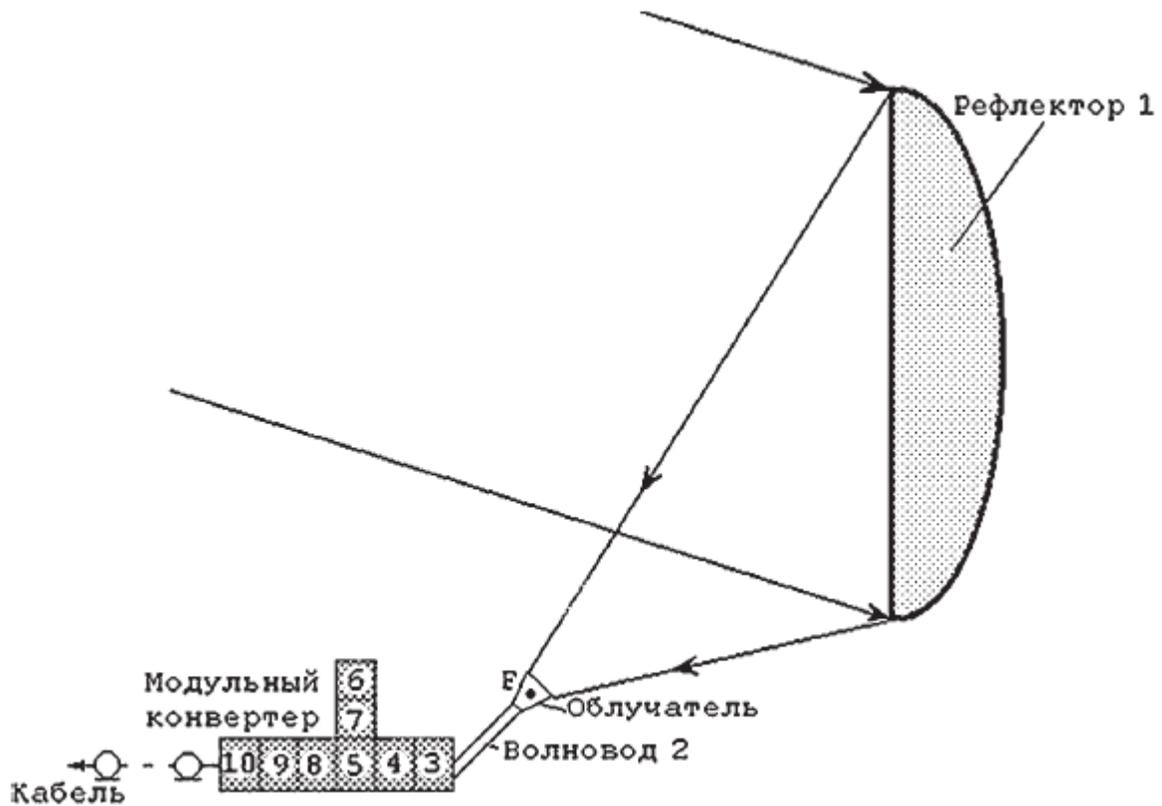


Рис. 40

Однако существенного выигрыша в усилении у этих антенн не получается, так как их эффективная площадь будет меньше из-за неперпендикулярности попадания на поверхность раскрыва рефлектора лучей приходящего сигнала. К тому же из-за неосесимметричного расположения ухудшается согласование облучателя с рефлектором. Поэтому отражения и стоячие волны между рефлектором и конвертером увеличиваются. Единственным заметным достоинством неосесимметричных антенн с вынесенным облучателем (Offset Antenne) следует признать почти вертикальное к поверхности Земли расположение рефлектора, что позволяет уменьшить падение на него атмосферных осадков (дождя, снега, града и др.). Это очень важно в северных широтах, где осадки выпадают чаще, чем в южных.

Плоские и сферические спутниковые антенны. В настоящее время в спутниковом непосредственном телевизионном приеме в качестве антенн наиболее широко применяются два основных параболоида вращения: осесимметричный и офсетный.

Трудоемкость изготовления параболического отражателя вынудила искать альтернативные конструкции антенн, более технологичных в производстве и самостоятельном изготовлении. К таким конструкциям относится плоский зональный отражатель Френеля, приведенный на рис. 41. На рис. 41а показан вид сбоку (разрез) отражателя (1 – металлические кольца, 2 – диэлектрическое основание, 3 – центральный диск, 4 – конвертер). На рис. 41б показан вид спереди (без конвертера).

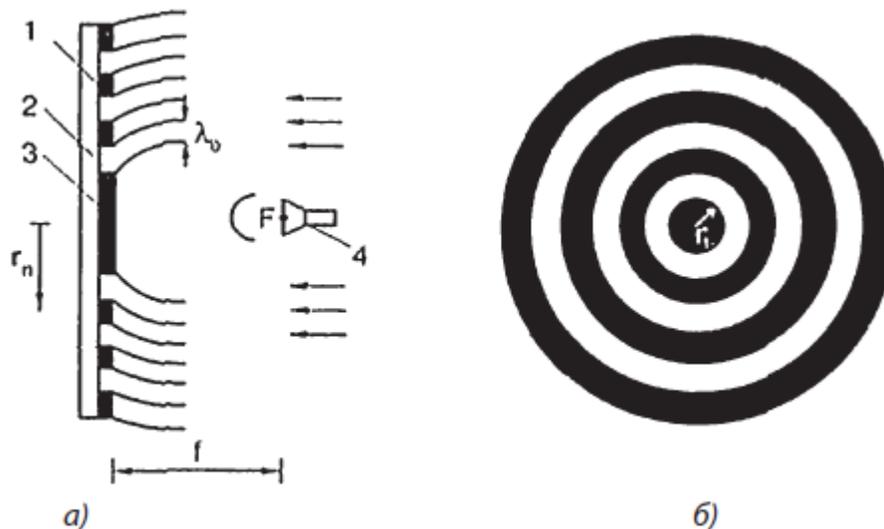


Рис. 41

Огюстен Жан Френель (1788–1828), французский физик, один из основателей волновой оптики, в процессе изучения дифракции света использовал метод разделения фронта волны на кольцевые зоны, названные впоследствии его именем.

Зональная антенна Френеля (ЗАФ) по принципу действия существенно отличается от обычно используемых антенн, содержащих в основе параболический отражатель.

Антенный отражатель Френеля представляет собой проводящие концентрические кольцевые поверхности, расположенные в одной плоскости. Под воздействием падающей волны электромагнитного поля, согласно принципу Гюйгенса, каждое кольцо становится источником вторичного излучения, которое направлено в разные стороны в отличие от параболоида вращения, отражающего все лучи в направлении фокуса. Можно подобрать такую ширину каждого кольца зональной антенны и расстояние между ними, чтобы сигналы вторичного излучения от средних линий каждого кольца в определенной точке пространства совпадали по фазе. Для этого достаточно, чтобы расстояния между средними линиями колец и указанной точкой отличались на длину волны сигнала. Эту точку по аналогии с параболоидом можно назвать фокусом. В фокусе, как и в параболической антенне, находится облучатель.

Сигналы, излученные серединой колец, оказываются в фазе с сигналом, излученным центром диска. Расфазировка между сигналами, излученными кромкой диска и его центром, а также кромками колец и их серединой, составляет всего $1/4$ длины волны.

Таким образом, расчет ЗАФ сводится к выбору места расположения фокуса F на воображаемой оси антенны, то есть расстояния f от полотна антенны, и вычислению внутренних и наружных радиусов колец в зависимости от длины волны λ ретранслятора. Расстояние f не критично, и его выбирают в пределах 500-1000 мм (для антенн больших диаметров).

Сигналы, которые излучают края колец, отличаются по фазе от сигналов, которые излучает окружность (находится в середине кольца), обеспечивающая синфазность. Широкие кольца обеспечивают широкополосность антенны. В связи с тем, что радиусы колец ЗАФ зависят от длины волны сигнала, может показаться, что антенна является узко-

полосной и для каждой частоты (или длины волны) спутникового транспондера понадобятся соответствующие размеры колец. Однако расчеты показывают, что это не так.

Зональная антенна плоская по форме, поэтому она значительно технологичнее в любительских условиях изготовления. Такая антенна может быть выполнена из большого куска фольгированного пластика, или методом травления, или путем вырезания промежутков между кольцами. Ее также можно изготовить наклейкой колец из фольги или ровной жести на лист гетинакса, текстолита, оргстекла, древесноволокнистого полотна (ДВП). Для снижения ветровой нагрузки в диэлектрическом основании антенны просверливают произвольное количество отверстий.

Основным недостатком зональной антенны по сравнению с параболической такого же диаметра является меньший коэффициент усиления, так как не вся энергия сигнала, попадающая на полотно антенны, направляется к облучателю. В условиях слабого сигнала потеря усиления даже на 2 дБ приводит к поражению сигнала шумами и потере цветности. Для компенсации недостатка коэффициента усиления ЗАФ необходимо увеличивать диаметр полотна антенны, хотя при достаточной мощности спутникового ретранслятора и больших углах места (меньше влияют тепловые шумы Земли) для данной точки приема такая антенна обеспечивает хорошие результаты.

Ряд зарубежных фирм производят плоские антенны, которые представляют собой систему из большого количества излучателей (простейших полуволновых вибраторов). Они расположены во много рядов и этажей, соединенных между собой фидерными линиями. Такая конструкция плоской антенны называется антенной решеткой (АР).

Точки питания вибраторов в этажах и рядах соединены таким образом, что принятые каждым вибратором сигналы складываются в фазе. В точках питания АР мощность сигнала равна сумме мощностей, принятых всеми вибраторами. В этих же точках находятся входные клеммы приемной части устройства (конвертера), куда поступает принятый решеткой суммарный по мощности сигнал.

Например, для частоты 12 ГГц синфазная решетка состоит из 2304 полуволновых вибраторов, размещенных в 48 рядов и 48 этажей. Такая решетка имеет размеры 600x600 мм, ширина ее диаграммы направленности в обеих плоскостях по половинной мощности составляет $4,2^\circ$ без учета ее сужения за счет диаграмм направленности вибраторов. Конструктивно решетку можно выполнить известным печатным способом путем травления фольгированного пластика.

Плоские антенны очень технологичны в производстве, а синфазная решетка имеет дополнительные преимущества по сравнению с зональной антенной Френеля, так как не нуждается в облучателе и ее выходные клеммы можно расположить в плоскости самой антенны. Сложность использования синфазной решетки заключается в необходимости такого соединения вибраторов с клеммами антенны, чтобы принятые всеми вибраторами сигналы поступали к выходу антенны с одинаковой фазой.

Существуют квадратные планарные антенны (цвет. вкладка 5), в которых вибраторы расположены в одной плоскости. Радиоволны через диффузное (пористое) синтетическое покрытие попадают на металлические элементы-облучатели, напыленные на тонкопленочные подложки. Длина этих элементов кратна длине волны принимаемого сигнала, и все они синфазно подключены к направленным на конвертер собирающим шинам, которые сведены к центру квадрата.

При соответствующих размерах синфазной АР и количестве вибраторов коэффициент усиления такой плоской решетки может быть не ниже, чем у антенны с параболиче-

ским отражателем. Это связано с тем, что у синфазной решетки узкая диаграмма направленности, так как в фазе складываются только сигналы, поступающие к решетке перпендикулярно ее плоскости.

Кроме того, среди достоинств плоских антенн можно выделить следующие: возможность их изготовления методами печатного монтажа, что обеспечивает высокую воспроизводимость параметров; снижение на 10–30 % ветровой нагрузки по сравнению с параболическими антеннами; простота перевозки, хранения и установки.

Если фазы всех излучателей плоской АР равны, то суммарный луч диаграммы направленности расположен перпендикулярно плоскости антенны.

Однако если ввести в фидерные линии синфазной АР фазовращатели (ФВ) и менять фазу сигнала в каждом излучателе, то в определенном (заданном) направлении сигналы придут в фазе и усилят друг друга. Такая антенная решетка называется фазированной (ФАР). Диагональ антенны расположена перпендикулярно поверхности земли. На рис. 42 представлена фазированная антенная решетка с электронным сканированием луча, при этом цифрами обозначены: 1 – излучатель, 2 – фазовращатель, 3 – позиционер (устройство для управления системой наведения антенны на спутник).

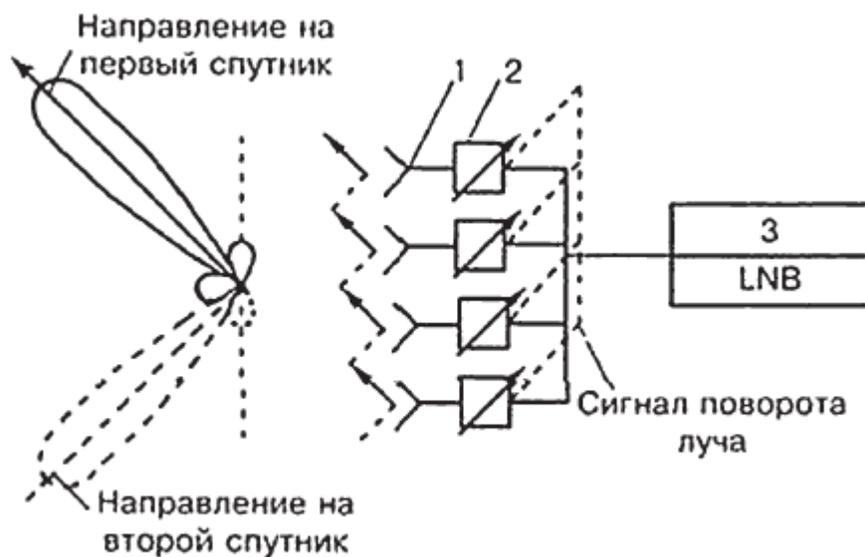


Рис. 42

В технологии решетки заложена возможность установки управляемых ФВ одновременно с излучающими элементами. В устройстве фазовращателя используются полупроводниковые диоды, или варакторы.

В зависимости от количества принимаемых с различных спутников программ количество ФВ может равняться 12 или 24. Система ФВ из 12 диодов может вести прием в секторе $\pm 8^\circ$, система из 24 диодов – в секторе $\pm 16^\circ$.

В ФВ используют интегральные микросхемы. Таким образом, возможна распайка ФВ на той же печатной плате, где вытравлены излучатели.

В настоящее время внимание к АР значительно возросло в связи с достижениями в области изготовления печатных плат и созданием новых высококачественных диэлектрических материалов с малым углом потерь. Относительная простота их изготовления в

заводских условиях обеспечивает производство большого количества антенных элементов и всех фидерных линий в едином технологическом цикле.

Отличием ФАР от используемых сегодня параболаидов вращения является микросекундное переключение луча на нужный спутник, в то время как в электромеханических системах с параболическим зеркалом этот процесс занимает десятки секунд и даже несколько минут.

Конвертер, прикрепленный к обратной стороне плоской печатной антенны, не затеняет апертуру. Невосприимчивость к воздействию прямых солнечных лучей, ветра и дождя гарантирует качественную работу конвертера в сложных климатических условиях.

Плоская форма и сравнительно небольшие габариты антенны (например, 65х65 см) не нарушают эстетичного внешнего вида здания и при ее установке не требуют согласования с архитектурными организациями.

Внедрение ФАР открывает новые, удобные для пользователя режимы работы (автопоиск спутников с последующим запоминанием координат и мгновенное переключение на нужный спутник), что, в свою очередь, позволяет использовать их для обеспечения приема спутниковых сигналов на подвижных объектах.

Сегодня эксплуатируется еще один вид спутниковой антенны – сферическая спутниковая антенна. Она имеет оригинальную конструкцию: шарообразная линза из диэлектрика, фокусирующая сигнал со спутника на концентрическую с фокальной плоскостью. Принцип фокусировки сферической антенны показан на рис. 43.

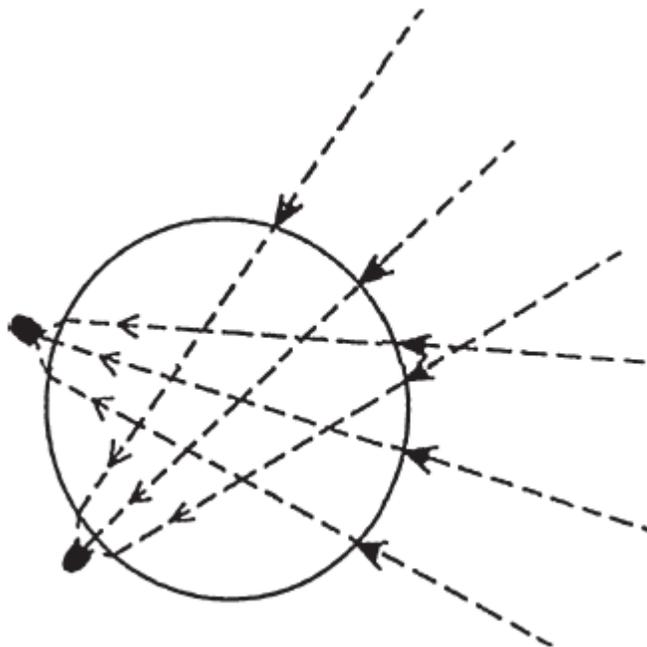


Рис. 43

Работа антенны аналогична процессу видения боковым зрением. Ведь мы видим не только то, что находится перед нами, но и в значительном секторе как по горизонтали (90–94), так и по вертикали (70–77).

По конструкции сферическая антенна напоминает планету Сатурн, на поясе (кольце) которой (фокальная плоскость) укреплено несколько конвертеров (цвет. вкладка 6). Сферическая антенна является многоспутниковой. Это означает, что на одну такую антенну одновременно можно принимать сигналы нескольких спутников, находящихся на разных позициях геостационарной орбиты. При этом необходимо установить на кольце сферической антенны конвертеры для каждого выбранного спутника.

Одна сферическая антенна диаметром 1,0–1,5 м может заменить семь-восемь параболических антенн соответствующих размеров.

При этом сферическая антенна не требует позиционера и опорно-поворотных устройств (ОПУ).

Основные типы подвески антенны. Кроме размера и формы зеркала, очень важным параметром является тип подвески антенны. Подвеска бывает азимутальной и полярной. Азимутальная подвеска, как правило, фиксированная, антенна при этом настраивается на единственный спутник и жестко фиксируется на кронштейне крепления. Для приема другого спутника должна быть проведена полная перенастройка антенны.

Полярная подвеска значительно сложнее по конструкции и настройке и, соответственно, более дорогая. Она обеспечивает возможность приема нескольких спутников, находящихся в разных орбитальных позициях, вращением антенны только вокруг одной вертикальной оси.

Чаще всего офсетные антенны имеют фиксированную азимутальную подвеску (цвет. вкладка 7), а прямофокусные – полярную (цвет. вкладка 8). Кроме того, даже если вы хотите принимать несколько спутников, для которых достаточно антенны размером 1,2 м, в полярную систему лучше поставить 1,8 м или хотя бы 1,5 м. Некоторый запас не помешает. В последнее время все чаще появляются офсетные антенны с полярным подвесом и размером до 1,6 м. К сожалению, образцов таких антенн не так много. Некоторые мастера присоединяют обычные офсетные антенны с азимутальной подвеской к самодельным полярным подвесам, но финансовый выигрыш при этом незначительный, хотя для приема 2–3 хорошо видимых спутников это, как нам кажется, неплохое решение.

Ниже описаны способы самостоятельного изготовления спутниковых антенн и опорно-поворотных устройств, используемых для их крепления.

Изготовление параболической антенны

В промышленных условиях параболоид вытягивается из дюралюминиевого или стального листа с помощью мощных гидравлических прессов. К другой разновидности относятся параболоиды, изготовленные из пластических масс методом литья с последующей металлизацией поверхности напылением. В любительских условиях использовать эти методы практически невозможно. Однако в специальной литературе (например, <http://www.teleradiocom.ru/arials/part1/part1.htm>) неоднократно были описаны достаточно простые технологии изготовления самодельных параболоидов методом выклейки стеклотканью по шаблону с последующей оклейкой металлической фольгой. В тех же источниках приведены готовые таблицы вычисленных координат параболы одного определенного параметра, что позволяет избавиться от несложного, но громоздкого расчета. Если окажется, что целесообразно использовать параболу с другим значением параметра, такой расчет можно выполнить исходя из уравнения параболы: $y^2 = 2px$.

Обычно расчет параболоида проводится с использованием вычислительной техники. В табл. 1 приведены результаты компьютерного расчета самой выгодной формы параболоида. Здесь значения абсциссы X (согласно рис. 44) заданы через 5 мм в интервале 0-

1000 мм. Соответственно значениям X в средней колонке приведены значения ординат Y . Результаты расчетов параболоида Y_{inv} , по значениям X и Y приведены в правой колонке. Расчет сделан для фокусного расстояния 750 мм, которое обычно выбирается в пределах 0,2–0,4 от диаметра параболоида.

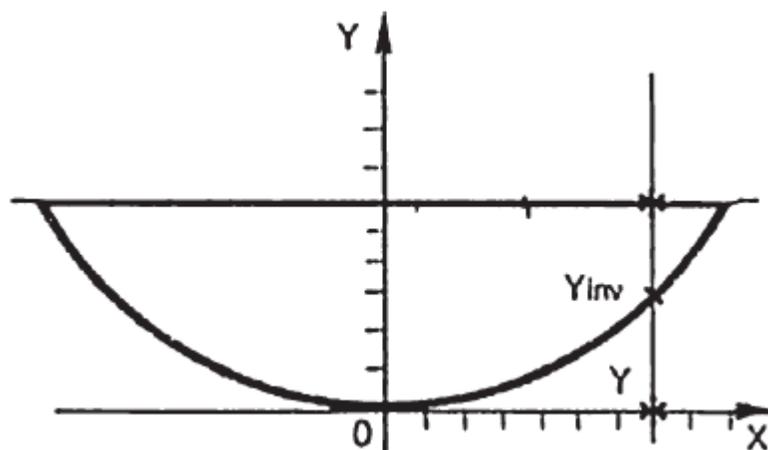


Рис. 44

Таблица 1. Расчет координат параболоида в декартовой системе (диаметр $D = 2000$ мм, фокус $F = 750$ мм)

Координаты, мм		Размер па- раболы, мм	Координаты, мм		Размер па- раболы, мм
X	Y	Y_{inv}	X	Y	Y_{inv}
1	2	3	4	5	6
0	0,00	333,33	505	85,01	248,33
5	0,01	333,33	510	86,70	246,63
10	0,03	333,30	515	88,41	244,93
15	0,08	333,26	520	90,13	243,20
20	0,13	333,20	525	91,88	241,46
25	0,21	333,13	530	93,63	239,70
30	0,30	333,03	535	95,41	237,93
35	0,41	332,93	540	97,20	236,13
40	0,53	332,80	545	99,01	234,33

1	2	3	4	5	6
45	0,68	332,66	550	100,83	232,50
50	0,83	332,50	555	102,68	230,66
55	1,01	332,33	560	104,53	228,80
60	1,20	332,13	565	106,41	226,93
65	1,41	331,93	570	108,30	225,03
70	1,63	331,70	575	110,21	223,13
75	1,87	331,46	580	112,31	221,20
80	2,13	331,20	585	114,07	219,26
85	2,41	330,93	590	116,03	217,30
90	2,70	330,63	595	118,01	215,33
95	3,01	330,33	600	120,00	213,33
100	3,33	330,00	605	122,01	211,33
105	3,67	329,66	610	124,03	209,30
110	4,03	329,30	615	126,07	207,26
115	4,41	328,93	620	128,13	205,20
120	4,80	328,53	625	130,21	203,13
125	5,21	328,12	630	132,30	201,03
130	5,63	327,70	635	134,41	198,93
135	6,07	327,26	640	136,53	196,80
140	6,53	326,80	645	138,68	194,66
145	7,01	326,33	650	140,83	192,50
150	7,50	325,83	655	143,01	190,33
155	8,01	325,33	660	145,20	188,13
160	8,53	324,80	665	147,41	185,93

1	2	3	4	5	6
165	9,07	324,26	670	149,63	183,70
170	9,63	323,70	675	151,88	181,46
175	10,21	323,13	680	154,13	179,20
180	10,80	322,53	685	156,41	176,93
185	11,41	321,93	690	158,70	174,63
190	12,03	321,30	695	161,01	172,33
195	12,68	320,66	700	163,33	170,00
200	13,33	320,00	705	165,68	167,66
205	14,01	309,33	710	168,03	165,30
210	14,70	318,63	715	170,41	162,93
215	15,41	317,93	720	172,80	160,53
220	16,13	317,20	725	175,21	158,13
225	16,88	316,46	730	177,63	155,70
230	17,63	315,70	735	180,07	153,26
235	18,41	314,93	740	182,53	150,80
240	19,20	314,13	745	185,01	148,33
245	20,01	313,33	750	187,50	145,83
250	20,83	312,50	755	190,01	143,33
255	21,67	311,66	760	192,53	140,80
260	22,53	310,80	765	195,07	138,26
265	23,41	309,93	770	197,63	135,70
270	24,30	309,03	775	200,21	133,13
275	25,21	308,13	780	202,80	130,53
280	26,13	307,20	785	205,41	127,93

1	2	3	4	5	6
285	27,08	306,26	790	208,03	125,30
290	28,03	305,30	795	210,68	122,66
295	29,01	304,33	800	213,33	120,00
300	30,00	303,33	805	216,01	117,33
305	31,01	302,33	810	218,70	114,63
310	32,03	301,30	815	221,41	111,93
315	33,08	300,26	820	224,13	109,20
320	34,13	299,20	825	226,88	106,46
325	35,21	298,13	830	229,63	103,70
330	36,30	297,03	835	232,41	100,93
335	37,41	295,93	840	235,20	98,13
340	38,53	294,80	845	238,01	95,33
345	39,67	293,66	850	240,83	92,50
350	40,83	292,50	855	243,68	89,66
355	42,01	291,33	860	246,53	86,80
360	43,20	290,13	865	249,41	83,93
365	44,41	288,93	870	252,30	81,03
370	45,63	287,70	875	255,21	78,13
375	46,87	286,46	880	258,13	75,20
380	48,13	285,20	885	261,08	72,26
385	49,41	283,93	890	246,03	69,30
390	50,70	282,63	895	267,01	66,33
395	52,01	281,33	900	270,00	63,33
400	53,33	280,00	905	273,01	60,33

1	2	3	4	5	6
405	54,67	278,66	910	276,03	57,30
410	56,03	277,30	915	279,08	54,26
415	57,41	275,93	920	282,13	51,20
420	58,80	274,53	925	285,21	48,13
425	60,21	273,13	930	288,30	45,03
430	61,63	271,70	935	291,41	41,93
435	63,08	270,26	940	294,53	38,80
440	64,53	268,80	945	297,67	35,66
445	66,01	267,33	950	300,83	32,50
450	67,50	265,83	955	304,01	29,33
455	69,01	264,33	960	307,20	26,13
460	70,53	262,80	965	310,41	22,93
465	72,07	261,26	970	313,63	19,70
470	73,63	259,70	975	316,88	16,46
475	75,21	258,13	980	320,13	13,20
480	76,80	256,53	985	323,41	9,93
485	78,41	254,93	990	326,70	6,63
490	80,03	253,30	995	330,01	3,33
495	81,68	251,66	1000	333,33	0,00
500	83,33	250,00			

По координатам (табл. 1) из стального листа толщиной 4–5 мм изготавливается лекало-шаблон (рис. 45). На этом рисунке цифрой 1 обозначены ребра жесткости, а цифрой 2 – лекало-шаблон, к которому и прикручиваются угольники (ребра) жесткости. Приваривать их к шаблону с помощью сварки нежелательно, так как при охлаждении металла могут нарушиться размеры лекала.

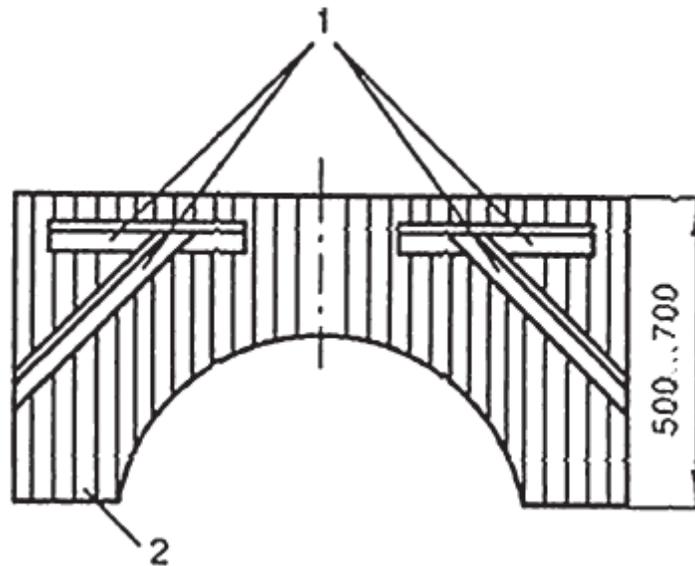


Рис. 45

На рис. 46 представлена конструкция поворотного устройства для изготовления параболического отражателя. Цифрами на рисунке обозначены: 1 – подшипник, 2 – опора, 3 – потолок, 4 – стяжки, 5 – шаблон и 6 – пол. Лекало закрепляется в этом устройстве с помощью конических подшипников. Одна обойма подшипника закрепляется к полу (6), а другая – к потолку (3). Соединяются они с помощью оси, в центре которой установлено лекало. Оно находится на расстоянии 70–80 мм от пола (если шаблон разместить ниже, то будет неудобно работать).

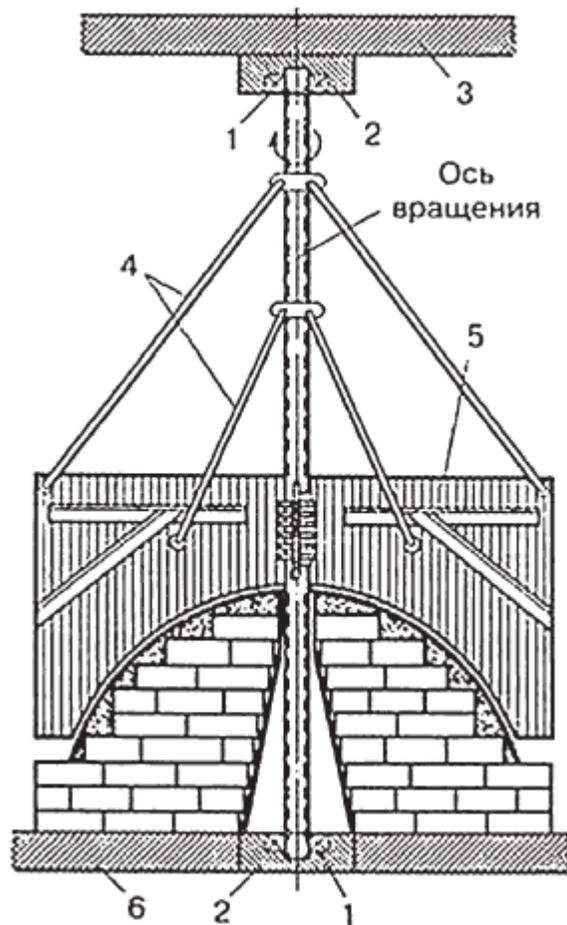


Рис. 46

Пространство от пола до лекала заполняется кирпичами или камнями, а верхний слой изготавливается из армированного стальным проводом бетона.

Поворачивая шаблон, выравнивают верхний слой раствора. Добавляют немного сильного раствора, который состоит из цемента и мелкого гравия с песком (1:1). Перед смешиванием песок желательно просеивать через сито. По мере усадки нижнего слоя периодически добавляют новый раствор. Бетонная глыба имеет обратную форму параболы, поэтому она должна быть сделана с точностью до 0,5 мм.

Через одну-две недели поверхность глыбы шлифуют наждачной бумагой и покрывают парафином, устраняя небольшие неровности. Затем всю поверхность обмазывают воском или маслом и легко полируют. После такой обработки форма готова для формирования первой антенны-параболы.

Изготавливать форму-глыбу из гипса нежелательно, так как он очень быстро застывает. Форму можно делать из дерева (фанерных шайб), однако это более трудоемко. Подготовив форму, лекало и ось удаляют из центра. Следующий этап – наклейка антенны.

В качестве арматуры для антенны используют стеклоткань или другую плотную и гладкую ткань. Парабола клеится эпоксидной или полиэфирной смолой либо синтетическим столярным клеем. Клеящее вещество наносят тонким слоем на бетонную форму с

помощью кисточки или пульверизатора. При этом эпоксидная смола должна быть перемешана с отвердителем. В этот раствор желательно добавить наполнитель, который предупреждает стекание смолы (например, мелко нарезанный порошок пенопласта). Затем на бетонную форму накладывают первый слой ткани (лучше цельный кусок на всю поверхность). Снова намазывают клей и накладывают второй слой, но уже из более грубой ткани. Так, не давая засохнуть нижним слоям, накладывают 3–5 слоев ткани.

Затем приступают к изготовлению восьми радиальных и двух окружных ребер жесткости. Первое окружное делают по краю антенны, второе (диаметром примерно 1000 мм) накладывают посередине. Ребра жесткости делают из пластин пенопласта, ширина и высота которых равна 100 мм, длина – 300 мм. Куски пенопласта приклеивают по окружности и радиусам. Через окружное ребро жесткости заворачивают лишние края ткани и тем самым формируют красивый бортик антенны.

Радиальные и центральные ребра жесткости оклеивают двумя-тремя слоями стеклоткани. В местах пересечения радиальных ребер с центровым ребром необходимо вклеить кусочки дерева размером 50х50х50 мм. На следующем этапе к ним будет крепиться антенна с площадкой поворотного механизма.

Металлические детали и ребра жесткости заклеивать в конструкцию антенны нежелательно, так как у металла и эпоксидной смолы разные коэффициенты расширения. После отвердевания клея, через сутки-двое, антенну снимают с формы, обезжиривают поверхность и начинают самую ответственную операцию – оклейку фольгой отражающей поверхности. Зеркало параболы изготавливают из полосок алюминиевой фольги, которую приклеивают только медленно засыхающим клеем БФ-2. Ширину фольги подбирают экспериментально. Наклеивать полоски нужно очень аккуратно: чем меньше складок, тем лучше будет отражение принимаемого сигнала. В процессе наклейки фольги следует соблюдать осторожность, так как можно порезать пальцы.

В фокусе осесимметричной антенны устанавливают конвертер. Чтобы неподвижно поддерживать его в этой точке, в конструкции антенны предусматривают дополнительное приспособление. Пример конструкции приспособления для крепления конвертера в фокусе осесимметричной параболической антенны приведен на рис. 47. Приспособление для крепления головки изготавливают из трех дюралюминиевых трубок, которые прикручивают к металлической шайбе с отверстием в центре для головки. По краям параболической антенны трубки закрепляют уголками. Точки крепления дюралюминиевых трубок размещают через 120° по поверхности антенны.

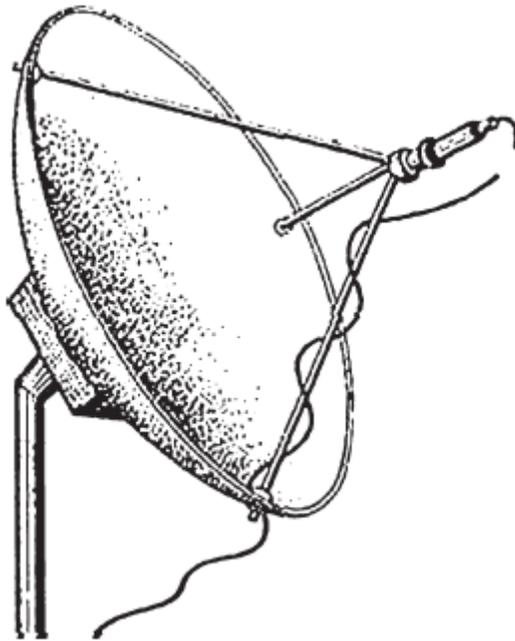


Рис. 47

Необходимо точно вычислить и затем обозначить (например, крестиком) центр параболоида. Параболоид устанавливают строго горизонтально и отвесом центрируют центр фокусной шайбы на трех дюралюминиевых трубках. Шайба должна находиться за фокусом на расстоянии 3–5 см от действительного фокуса. Это необходимо для свободного движения конвертера, настройки на наибольший сигнал.

Форму для выклейки параболических антенн меньшего диаметра (1,0–1,2 м) можно сделать другим способом. Рекомендуется такая последовательность изготовления формы.

Из стальной проволоки диаметром 4–5 мм делают каркас (рис. 48). Точками на этом рисунке обозначены места сварки элементов каркаса. Меридиональные (продольные) ребра каркаса предварительно изгибают по простейшему шаблону из толстой фанеры. Кривую для изготовления шаблона можно построить на миллиметровой бумаге как эквидистанту (равноотстоящую) с зазором 20–25 мм относительно профиля параболоида, рассчитанного при фокусном расстоянии $F = 450$ мм. Затем каркас обтягивают мелкоячеистой сеткой, закрепив ее проволокой.



Рис. 48

Далее изготавливают лекало-шаблон из листового дюралюминия или стали толщиной 4–5 мм, ось – из латуни или дюралюминия, втулку – из стали. Отверстие во втулке и ось шаблона изготавливают с допуском, обеспечивающим скользящую посадку по второму-третьему классу. Например, при диаметре оси 30 мм допуски для втулки и оси равны соответственно +0,021 и -0,021 мм. Конструкция лекала-шаблона и втулки приведена на рис. 49, при этом втулка обозначена цифрой 1, а лекало-шаблон – цифрой 2.

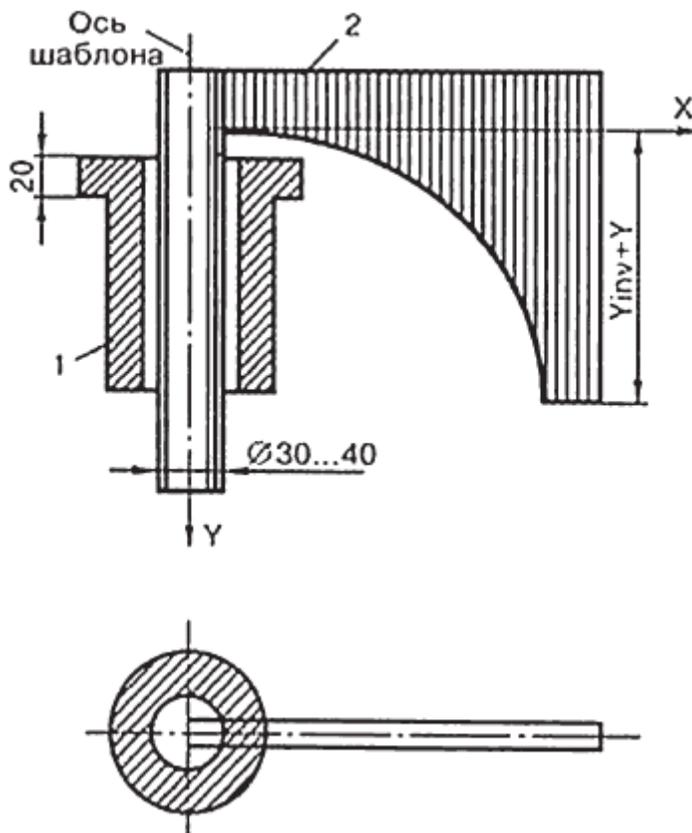


Рис. 49

Перед заливкой горки в каркас вставляют соосно и фиксируют втулку шаблона (рис. 50). Каркас заливают раствором из малоусадочного цемента или смесью песка с жидким стеклом. При этом необходимо дать возможность схватиться нижним слоям раствора. Толщина купола готовой формы не должна превышать 20–25 мм, иначе она будет долго сохнуть. Верхний слой купола формируют, соскабливая шаблоном лишний, не совсем застывший раствор. Иллюстрация процесса формирования купола с помощью лекала-шаблона представлена на рис. 51, при этом введены следующие обозначения: 1 – купол, 2 – втулка, 3 – лекало-шаблон.

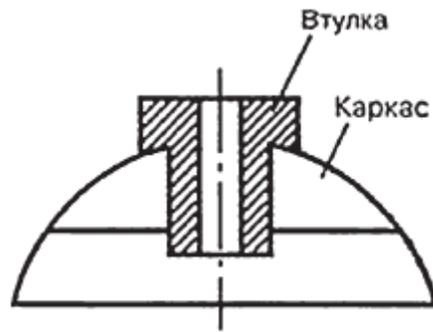


Рис. 50

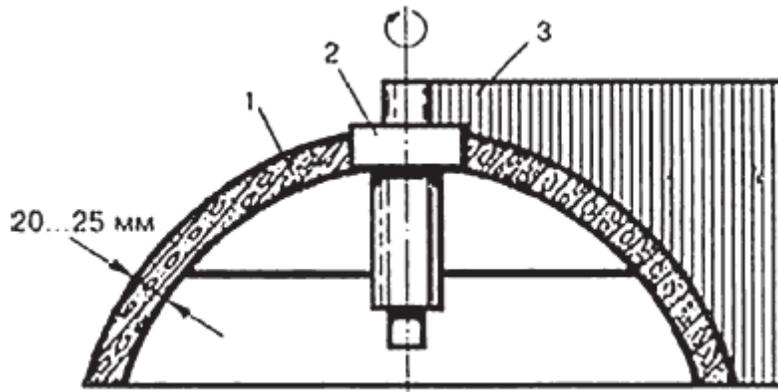


Рис. 51

После высыхания формы в течение нескольких дней на ее поверхности могут появиться трещины. Их замазывают раствором эпоксидной смолы с наполнителем и снова выравнивают шаблоном. После полного высыхания поверхность зачищают мелкой наждачной бумагой.

Изготовление опорно-поворотных устройств. Для точной ориентации параболической антенны на искусственный спутник Земли в ее конструкции необходимо предусмотреть поворотные механизмы, которые позволяют изменять положение антенны по горизонтали и вертикали, жестко фиксировать выбранное направление (рис. 52–58). Так, на рис. 52 приведена конструкция поворотного устройства параболической антенны и введены следующие обозначения: 1 – конвертер, 2 – трубка фиксации положения конвертера в фокусе антенны, 3 – параболическая антенна, 4 – опорная стойка-мачта (конструкция более детально представлена на рис. 53), 5 – обойма оси вертикального поворота (конструкция более детально представлена на рис. 54), 6 – ось горизонтального поворота (конструкция более детально представлена на рис. 55), 7 – рама поворотных механизмов (конструкция более детально представлена на рис. 56), 8 – кронштейн для начальной установки вертикального уклона антенны механизмов (конструкция более детально представлена на рис. 57), 9 – рычаг горизонтального поворота антенны механизмов (конструкция более детально представлена на рис. 58), 10 – датчик горизонтали, 11 – защитная крышка, 12 – редуктор, 13 – цепь горизонтального поворота, 14 – датчик вертикали.

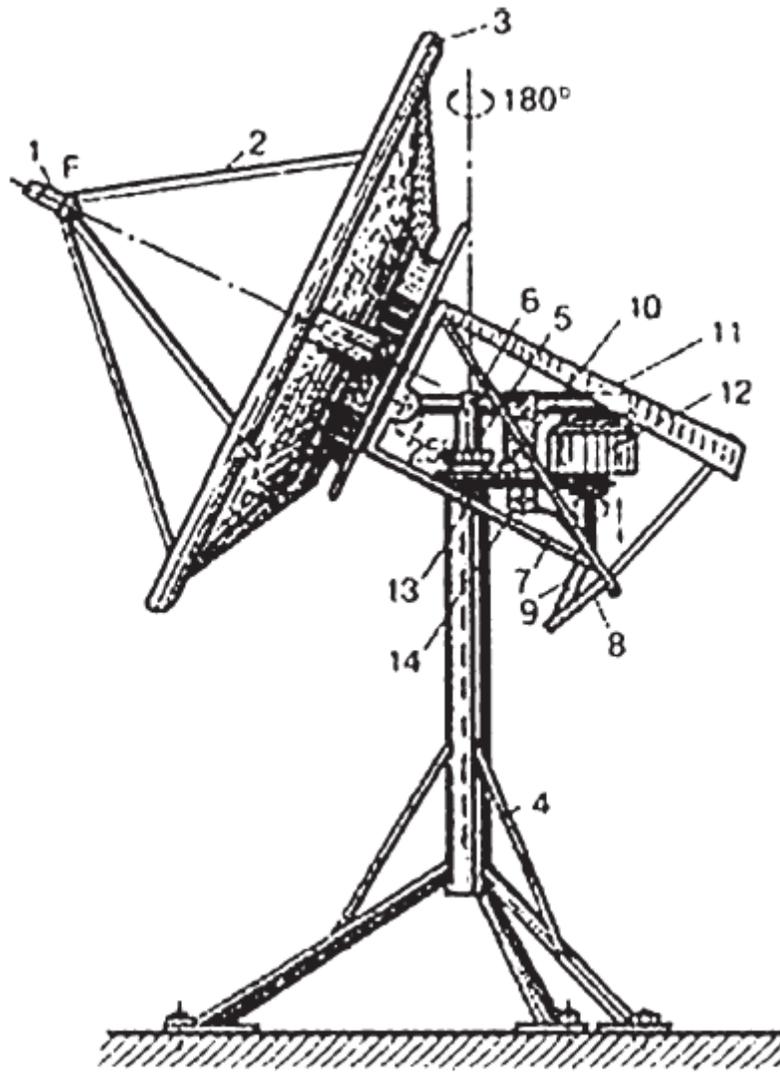


Рис. 52

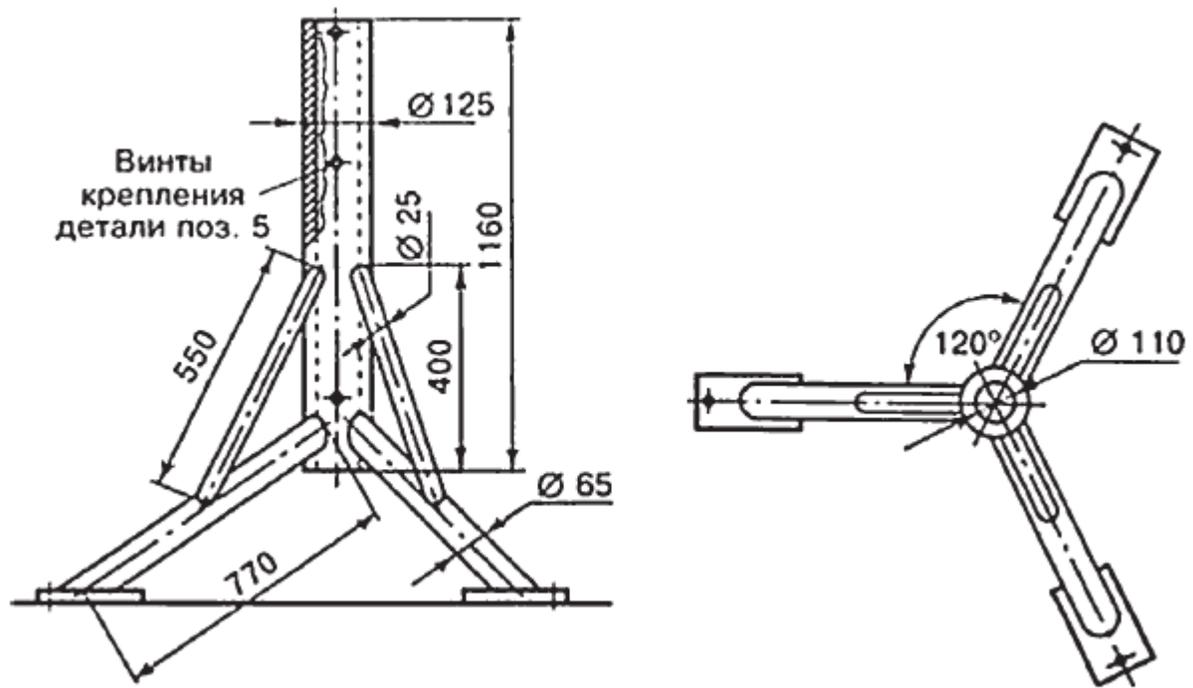


Рис. 53

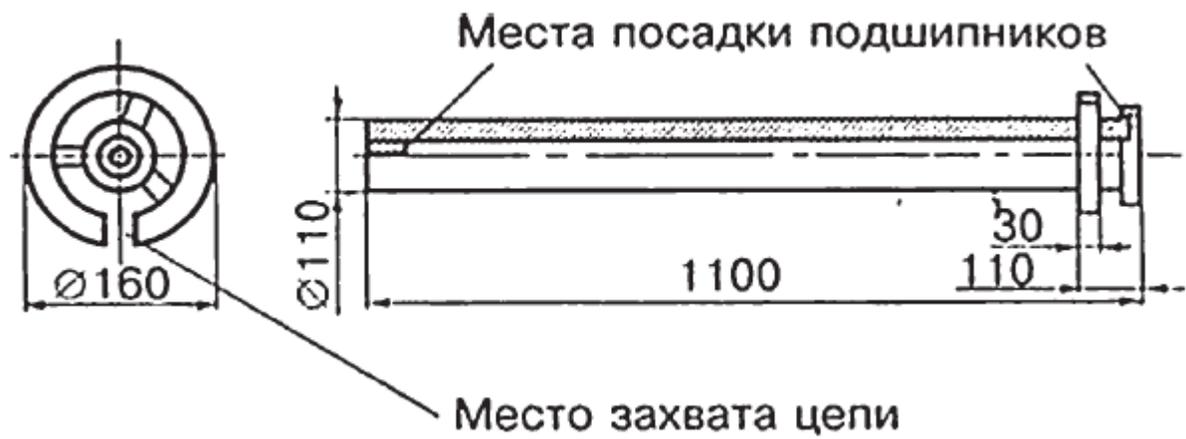


Рис. 54

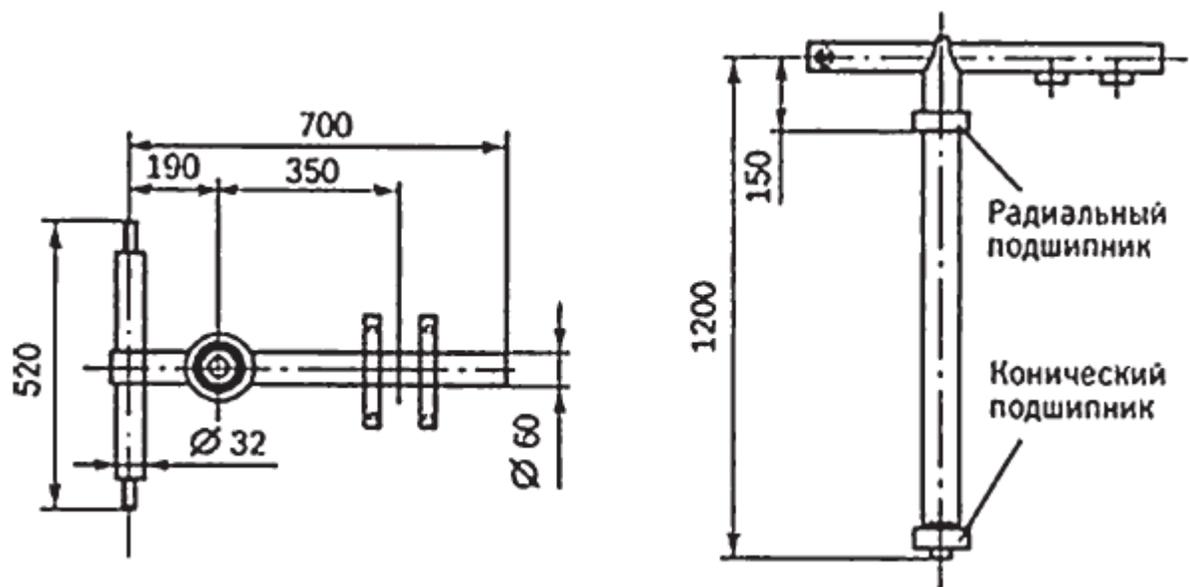


Рис. 55

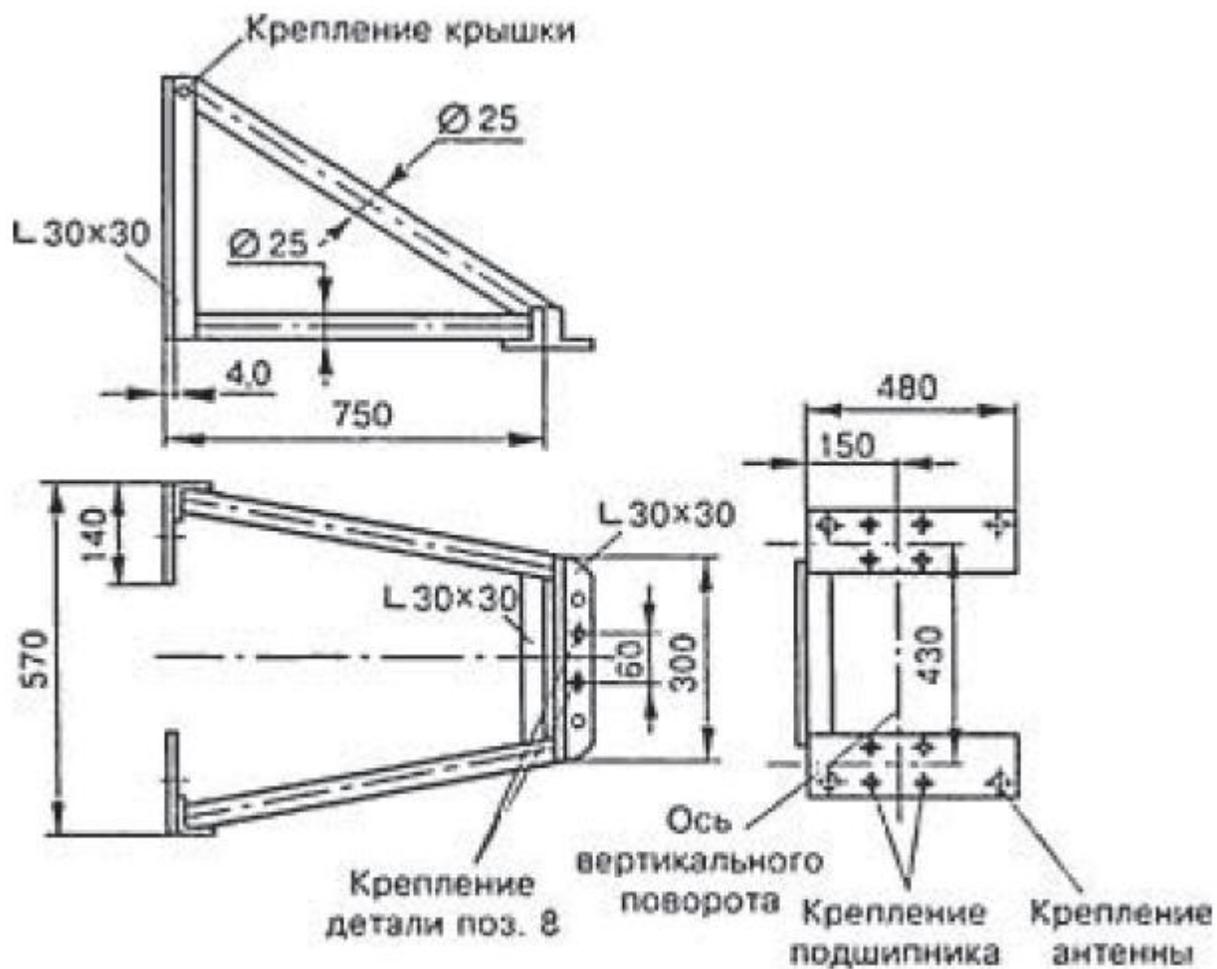


Рис. 56

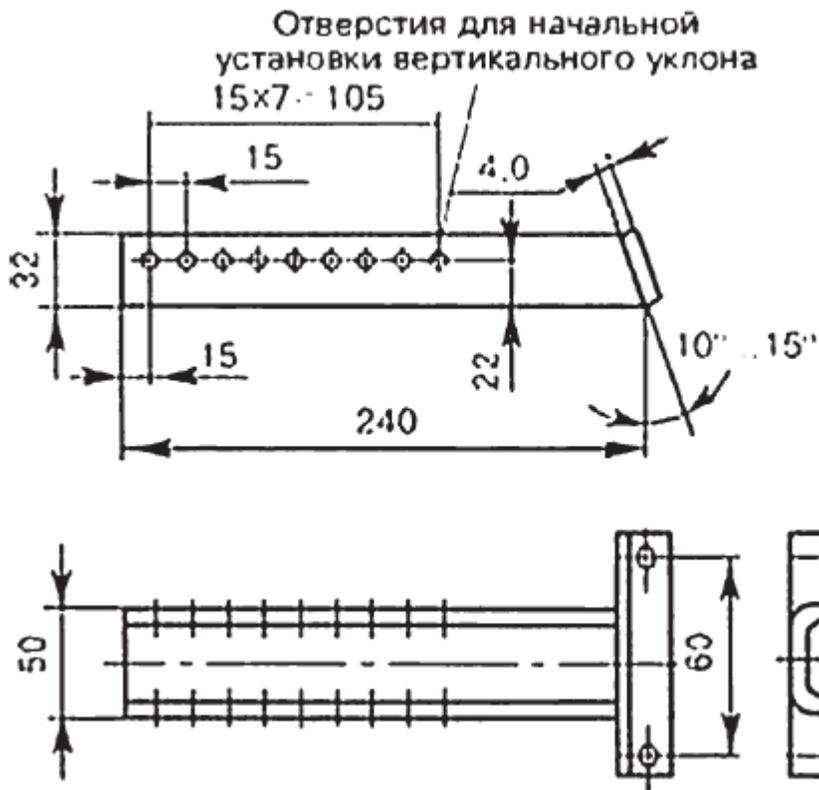


Рис. 57

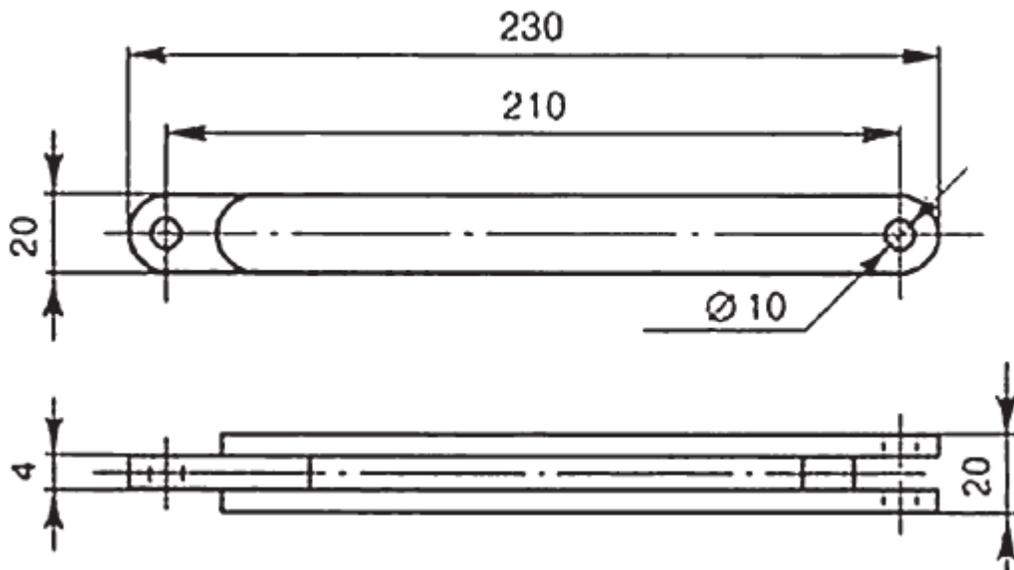


Рис. 58

Стойку антенны сваривают из стальных труб и обязательно закрепляют на фундаменте. При большом диаметре параболоида «ветровое» давление на его зеркало может достигать нескольких сот килограммов. Для обеспечения устойчивости и работоспособности антенны при скорости ветра до 25–30 м/с опорная стальная труба должна иметь диаметр 90–100 мм и толщину стенки 4–5 мм (высота трубы 1,2–2,0 м). Основание и раскосы для трубы лучше всего изготавливать из стального швеллера, ширина полки которого 40–50 мм. Для изготовления других силовых элементов конструкции (азимутальной втулки, угломестной рамы и других узлов) целесообразно использовать стальной уголок. Неподвижные соединения деталей из стали лучше делать электросваркой, что уменьшит люфты.

Чтобы знать, на какой спутник в данный момент ориентирована параболическая антенна, необходимо оснастить ее указателями поворота. Если антенна хорошо видна, можно установить на ней достаточно большие шкалы, показывающие углы поворота и подъема. Если такой вариант нецелесообразен, можно сделать электронное устройство управления антенной (рис. 59–60). На рис. 59 представлена конструкция устройства контроля положения антенны, при этом введены следующие обозначения: 1 – резистор вертикального датчика, 2 – резистор горизонтального датчика, 3 – шестерня привода, 4 – рычаг привода. Принципиальная электрическая схема индикатора угла поворота и подъема антенны приведена на рис. 60.

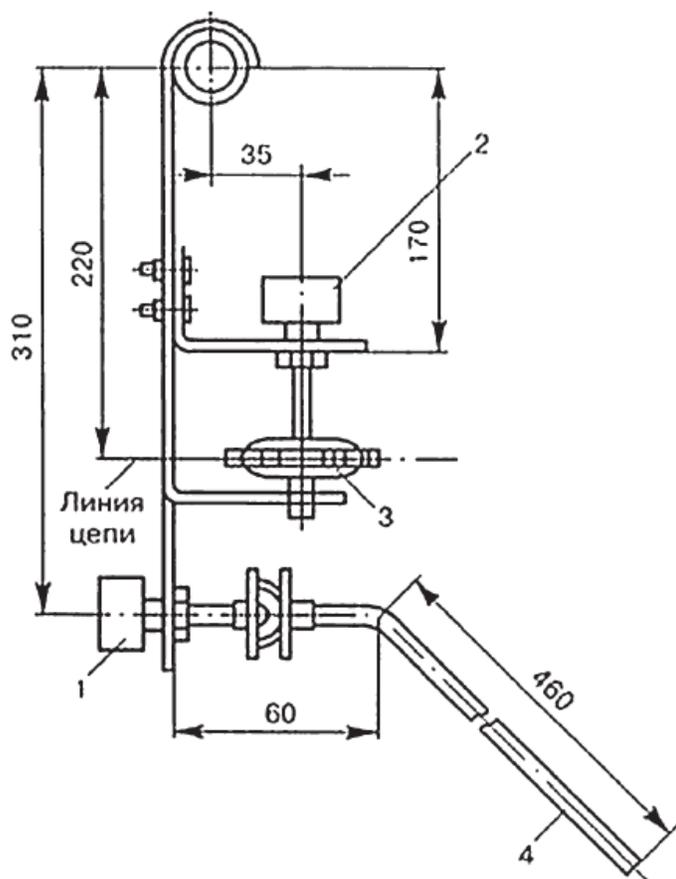


Рис. 59

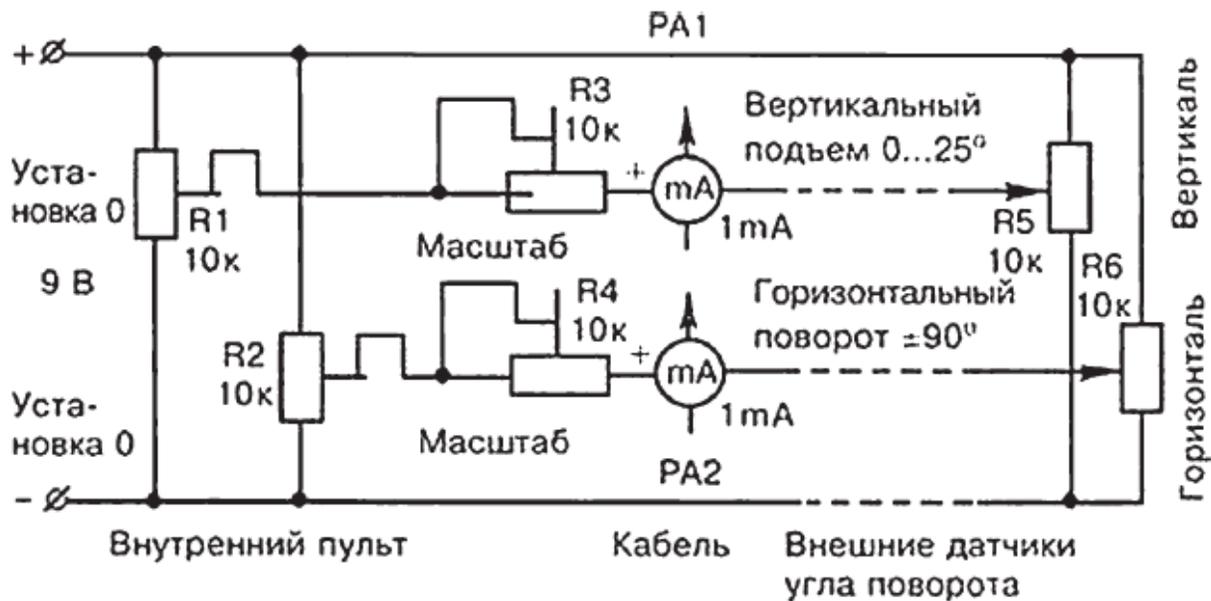


Рис. 60

В качестве датчиков углов поворота антенны используются обычные переменные резисторы (например, типа СП-1). Номиналы их сопротивлений не критичны. Они не обязательно должны быть одинаковыми, но их линейная характеристика должна быть типа А.

В качестве индикаторов используются миллиамперметры со стрелкой посередине. Калибровку показаний осуществляют следующим образом (рис. 60). Параболическую антенну устанавливают так, чтобы она приняла горизонтальное положение, и резистором R3 выставляют на ноль стрелку прибора PA1. Затем антенну поворачивают на 25°, чтобы она приняла вертикальное положение, и устанавливают стрелку прибора на крайнее деление шкалы. При этом резистор R5 находится в среднем положении.

Для регулировки горизонтального поворота антенну устанавливают в южном направлении. При этом резистор R6 на антенне также находится в среднем положении. Резистором R2 устанавливают на нуле стрелку прибора PA2. Поворачивают антенну на 90° и резистором R4 устанавливают стрелку прибора на крайнее деление шкалы.

Ручные механизмы для наведения параболической антенны часто представляют собой конструкцию типа «винт – качающаяся гайка» (рис. 61–62). На рис. 61 цифрами обозначены следующие элементы: 1 – рукоятка, 2 – шарнир, 3 – винт, 4 – втулка, 5 – гайка, 6 – элементы ОПУ.

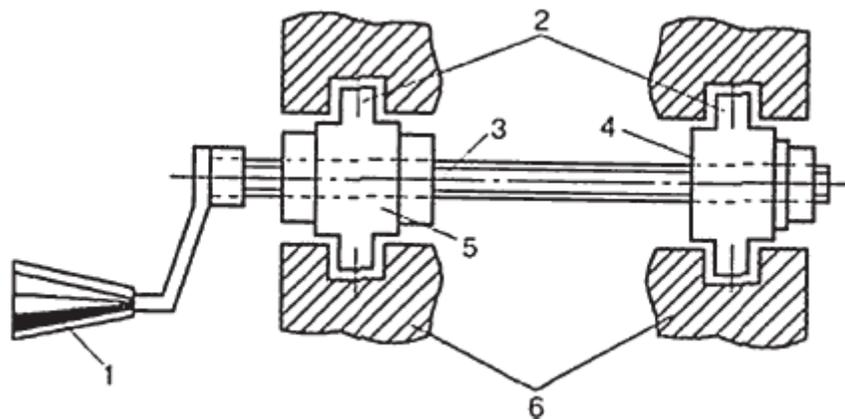


Рис. 61

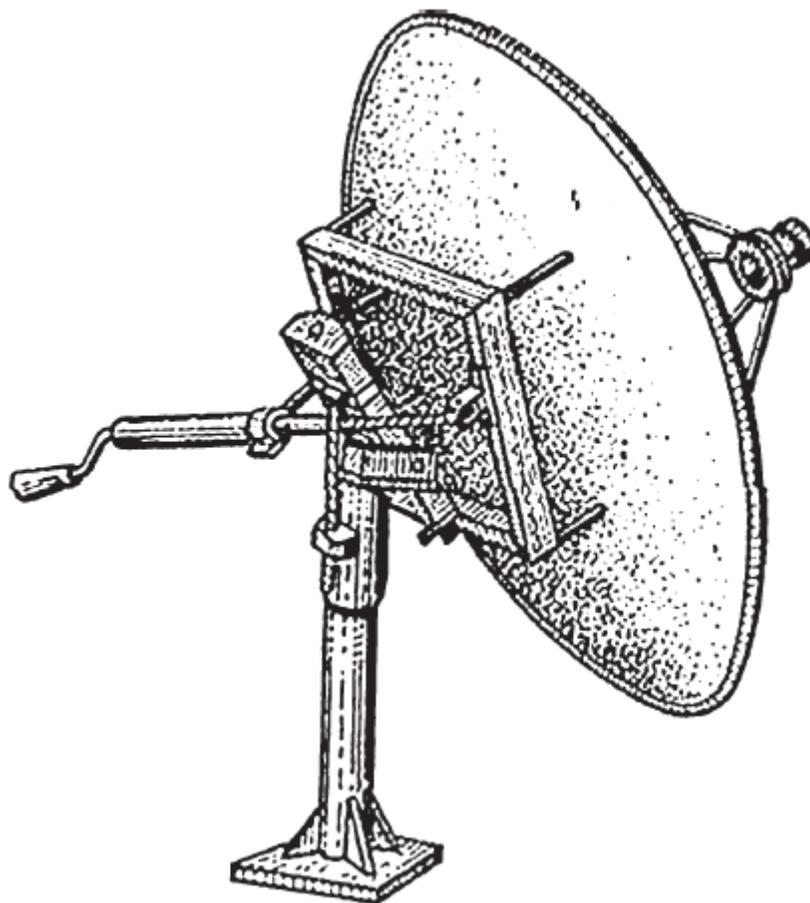


Рис. 62

На одном конце ходового винта на ОПУ шарнирно закреплена втулка (4), допускающая безлюфтовое вращение в ней винта (3). Гайка (5), через которую проходит винт (3), также выполнена в виде шарнира, установленного на другом элементе конструкции ОПУ, при повороте винта смещающейся (поворачивающейся) относительно элемента с

прикрепленной к нему втулкой (4). Шарниры (2) позволяют изменить угловое положение ходового винта (3) при изменении взаимного положения узлов ОПУ (6), на которых шарнирно закреплены гайка (5) и втулка (4) механизма. Механизм наведения приводится в движение с помощью рукоятки (1).

Однако в большинстве случаев спутниковую антенну оснащают автоматической системой наведения на спутник. Устройство, состоящее из электродвигателя и привода для наведения антенны на различные спутники с помощью позиционера, называется актуатором (или актюатором). Позиционер, в данном случае, это специальное устройство для управления актуатором.

В актуаторе используется электродвигатель с редуктором, который представляет собой несколько (обычно 2–3) шестеренчатых передач и одну передачу «винт – гайка» для перемещения выдвижного штока в фиксированных пределах, снаружи шток закрыт герметичным кожухом.

Поскольку актуатор используется в течение небольшого промежутка времени (во время изменения ориентации антенны), то для удешевления конструкции используют электродвигатели малой мощности, работающие в форсированном режиме. Если по какой-то причине мотор сильно перегревается, то чтобы предотвратить поломку, термодатчик (биметаллическая пластина) разрывает цепь питания. Напряжение питания электродвигателя составляет, как правило, не более 36 В.

Актуатор закрепляется на опорно-поворотном устройстве и рефлекторе антенны. При выдвижении штока актуатора происходит поворот рефлектора вокруг полярной оси подвески. Конструкции актуаторов позволяют просматривать сектор геостационарной орбиты до 100 градусов.

Наиболее простые и дешевые устройства обеспечивают вращение антенной системы весом до 360 кг. В таких моделях установлены пластмассовые шестерни, а самосмазывающаяся передача «винт – гайка» изготовлена из сплава алюминия и бронзы. Более дорогие модели позволяют управлять подвеской весом до 700 кг – здесь уже используются стальные шестерни и шариковинтовая передача, обладающая меньшей фрикционной нагрузкой и, следовательно, более высоким КПД, что позволяет при том же прикладываемом усилии, что и в случае передачи «винт – гайка», увеличить полезную нагрузку.

Облучатели. В качестве облучателей зеркал параболических антенн применяют слабонаправленные антенны, обладающие однонаправленным излучением (в сторону зеркала). Фазовый центр облучателя совмещается с фокусом зеркала. При этом облучатель должен создавать в пределах угла раскрытия зеркала сферическую или близкую к ней волну.

Диаграмма направленности облучателя должна обеспечивать требуемое амплитудное распределение в раскрытии при малом переливании энергии через края зеркала, по возможности обладать осевой симметрией и минимальным уровнем боковых и задних лепестков. Структура излучаемого облучателем поля должна быть такова, чтобы было незначительным поле с поперечной поляризацией. Желательно иметь малые размеры облучателя, чтобы уменьшить его экранирующее действие (теневой эффект) на поле, излучаемое зеркалом; элементы крепления облучателя также не должны существенным образом искажать отраженное зеркалом поле. Диапазонные свойства параболической антенны в основном зависят от облучателя, поэтому от него требуется широкая полоса пропускаемых частот, как по направленным свойствам, так и по входному сопротивле-

нию. Облучатель и его тракт питания следует рассчитывать и конструировать так, чтобы заданная мощность пропусклась без возможности пробоя диэлектрика.

Если необходимо, чтобы антенна обладала большой широкополосностью, то в качестве облучателей могут использоваться логопериодические антенны, плоские и конические спирали.

Вибраторные облучатели, питаемые с помощью коаксиальных линий, применяют обычно в дециметровом диапазоне и в длинноволновой части сантиметрового диапазона. Для создания однонаправленного излучения используют контррефлекторы в виде пассивных вибраторов или металлических дисков диаметром $0,7-0,8\lambda$, (рис. 63). Фазовый центр облучателя находится между вибратором и рефлектором. Диаграмма направленности облучателя с дисковым рефлектором близка к осесимметричной.

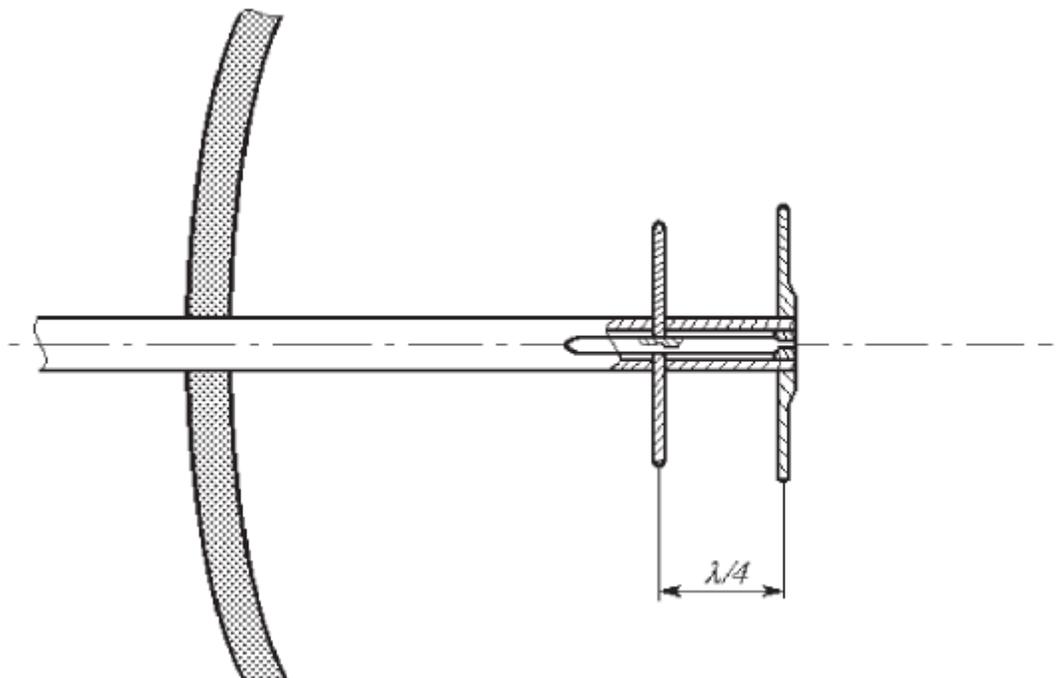


Рис. 63

Вибраторы, питаемые с помощью волноводов, – волноводно-вибраторные облучатели (рис. 64) – применяют на волнах короче 10 см. В середине выходного отверстия волновода устанавливается тонкая металлическая пластина перпендикулярно линиям вектора E (напряженности электрического поля), к которой в их центре крепят два вибратора на расстоянии примерно $0,25-0,3\lambda$ друг от друга. Вибраторы возбуждаются полем, выходящим из открытого конца волновода. Длины вибраторов подбираются так, чтобы второй вибратор играл роль контррефлектора. Фазовый центр расположен между вибраторами (ближе к первому из них). Стенки волновода, параллельные вектору напряженности магнитного поля H , суживаются к концу для того, чтобы ослабить затенение зеркала волноводом. Вибраторные облучатели целесообразно использовать в случае довольно глубоких параболических зеркал (примерно при $2\psi_0 = 120-180^\circ$). Недостатком вибраторных облучателей является их узкополосность.

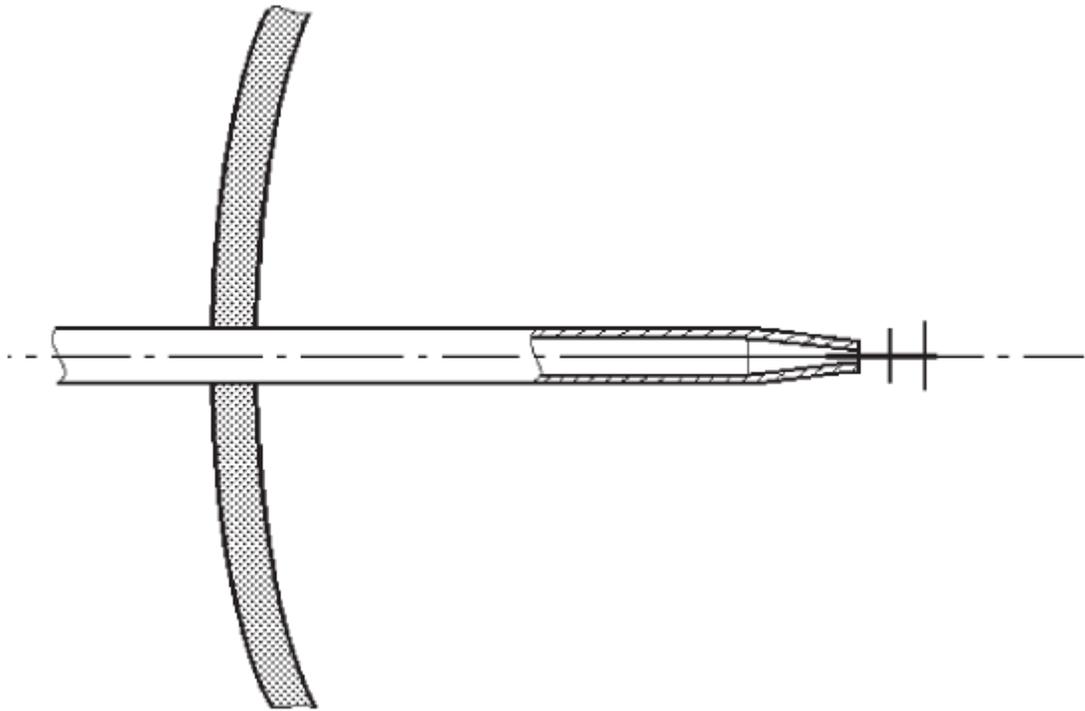


Рис. 64

Для создания круговой поляризации можно применить спиральный и крестообразный (турникетный) облучатель (рис. 65). Облучатели этого типа применяются также в зеркальных антеннах, если передаваемые и принимаемые поля имеют взаимно перпендикулярную поляризацию. В этом случае один из вибраторов используют для передачи, другой – для приема.

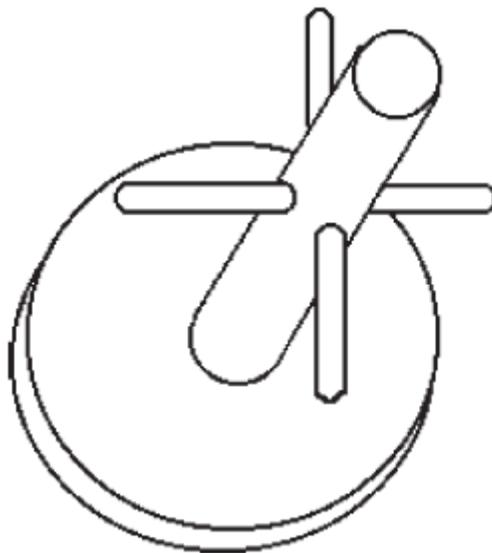


Рис. 65

На сантиметровых и более коротких волнах широко применяют волноводные (круглые и прямоугольные) и рупорные облучатели (рис. 66). Иногда их используют на дециметровых волнах. Эти облучатели позволяют передавать большую мощность и превосходят по диапазонным свойствам вибраторные. Однако из-за наличия волновода они затеняют зеркало. Небольшой пирамидальный или конический рупор на конце волновода позволяет получить пространственную диаграмму направленности, сравнительно симметричную относительно оси зеркала. Такой облучатель имеет более узкую диаграмму направленности, чем волноводный, и поэтому может применяться в случаях более длиннофокусных параболоидов. Рупорный облучатель имеет значительно меньшее излучение в обратном направлении, чем волноводный. Применение рупорного облучателя с фазирующей секцией позволяет с помощью зеркала получить вращающуюся поляризацию. С помощью рупора можно обеспечить оптимальное облучение зеркала с углом раскрыва $2\psi_0 = 100\text{--}150^\circ$. Однако такие облучатели создают амплитудное распределение в раскрыве зеркала, далекое от равномерного. При этом утечка энергии за края зеркала довольно высока.

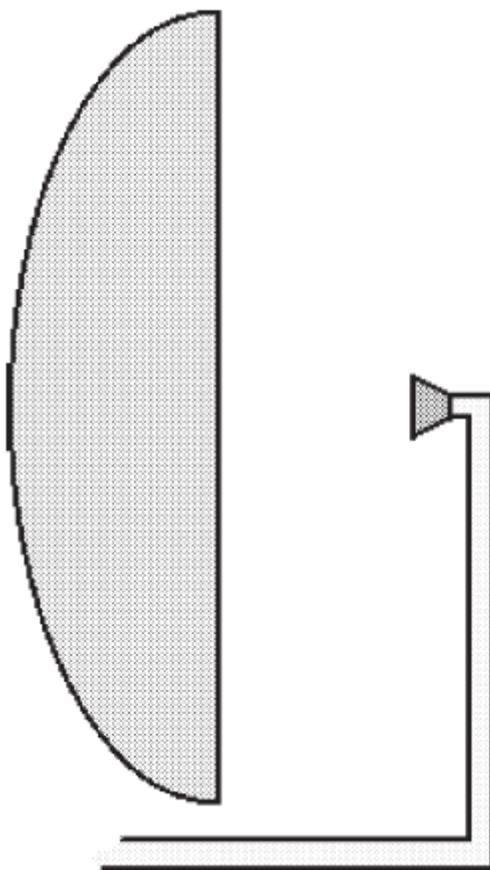


Рис. 66

Следует иметь в виду, что на практике фазовый фронт волны облучателя вблизи поверхности зеркала часто существенно отличается от сферического (это относится к некоторым вибраторным облучателям, несинфазным рупорам, логопериодическим облуча-

телям и др.) и, кроме того, возможна неточность в установке облучателя. Все это приводит к уменьшению коэффициента усиления антенны. Существуют различные способы уменьшения уровня боковых лепестков рупорных облучателей, обладающие, однако, существенными недостатками (снижение коэффициента усиления, изменение геометрических размеров и др.).

Как выбрать спутниковую антенну

Спутниковая тарелка в сознании широких слоев населения по праву олицетворяет всю спутниковую приемную систему. Конечно, на самом деле любая телевизионная спутниковая система состоит из многих частей, хотя антенна совершенно объективно является чуть ли не самой важной ее деталью. И трудно не согласиться с тем, что антенна – самый большой и заметный элемент приемной системы.

Прежде чем говорить о том, как выбрать спутниковую антенну, необходимо определить, для работы в составе какой приемной спутниковой системы она предназначена. То есть, выбирая спутниковую антенну (как, впрочем, и другие компоненты приемной системы), необходимо ответить на несколько вопросов:

- В зоне покрытия каких спутников вы проживаете, то есть какие спутники вы в принципе можете принимать?
- Какие каналы вас интересуют и какой, исходя из этого, спутник вы хотите смотреть?
- Имеется ли возможность расположить антенну так, чтобы ничего не закрывало направление на спутник?
- Хотите ли вы смотреть один или несколько спутников?
- Какие финансовые средства вы можете вложить в это дело?

Ответить на первые два вопроса вам помогут в любой фирме, занимающейся спутниковым телевидением в вашем городе.

При заказе спутниковой антенны вам следует учесть то, что антенны для дома и офиса должны быть разными, ведь вам необязательно иметь дома суперскоростную, мощную, многоканальную антенну, вам будет вполне достаточно офсетной. Хотя сейчас есть много других принципов построения наземных спутниковых антенн.

Не следует также забывать, что размер антенны, необходимый для приема программ с того спутника, на который вы решили настроить свою антенну, будет зависеть от вашего географического положения. Это связано с тем, что диаметр антенны связан с уровнем мощности сигнала, принимаемого со спутника в вашей местности.

Уровень сигнала можно определить по карте покрытия, которая является проекцией на географическую карту местности диаграммы направленности передаваемого на Землю сигнала и представляет собой замкнутые кривые, очерчивающие границы по уровню мощности принимаемого сигнала. Значения мощности приводятся в дБВт. К сожалению, нередко публикуемые официально карты покрытия являются ожидаемыми, а не реально измеренными. Более того, не все каналы со спутника идут одинаково хорошо.

Значит, необходимо выбирать размер антенны с некоторым запасом, чтобы слабое ухудшение сигнала, вызванное, например, атмосферными явлениями, не приводило к сильному ухудшению телевизионного изображения.

Поэтому все же самый безопасный метод – обратиться в фирму, занимающуюся установкой спутниковых систем в вашем городе, и уточнить, насколько хорошо принимаются в вашем регионе интересующие вас каналы и какой диаметр антенны для этого необходим.

При покупке антенны необходимо обратить особое внимание на надежность элементов подвески и кронштейна, на который она будет смонтирована, а также на крепеж. Это особенно важно, если антенна будет установлена на высоком или ветреном месте. Кронштейн обычно закрепляют при помощи специальных саморасклинивающихся болтов. Стоит обратить внимание на размер кронштейна: его конструкция должна позволять вам направить антенну в нужном направлении (и при этом не упереться в стену краем зеркала), особенно это важно для полярных систем, настроенных на прием нескольких различных спутников.

Установка, спутниковых антенн

Устанавливая спутниковую антенну, следует строго учитывать регион. Нужно убедиться, что фирма, выбранная для осуществления работ по установке спутниковой антенны, имеет соответствующие лицензии, чтобы вашу антенну потом не демонтировал ЖЭК.

Если же вы решили самостоятельно установить и настроить спутниковую антенну, то вам будут полезны приведенные ниже рекомендации («Телеспутник», № 7, 1999).

Итак, рассмотрим особенности установки и настройки спутниковой приемной системы для Ku-диапазона (10,7-12,7 ГГц), в котором работают все основные спутники телевизионного вещания.

Выбор места установки спутниковой антенны. Необходим открытый обзор от точки установки на спутник. Приему сигнала мешают любые препятствия (чаще всего дома или деревья) на линии, соединяющей антенну и спутник. Кроме того, антенна должна быть в легкодоступном для вас месте, что особенно важно в момент ее настройки, и недоступном для других, чтобы невозможно было легко вывести ее из строя, поскольку, к сожалению, до сих пор встречаются акты вандализма в отношении спутниковых антенн.

Кроме этого при выборе места установки антенны необходимо учитывать, что все спутники телевизионного вещания расположены в направлении от югозападного до юго-восточного. Причем наиболее высоко над горизонтом расположены спутники, находящиеся прямо на юге (цвет. вкладка 9).

Монтаж и установка антенны. Антенну следует собирать согласно инструкции по сборке. Опора антенны жестко закрепляется в выбранной точке. При установке на балконе или лоджии загородку сверлят насквозь и прикрепляют опору обычными длинными болтами большого диаметра. При установке на стене в ней сверлят отверстия и используют саморасклинивающиеся анкерные болты.

При сборке антенны особое внимание нужно уделить тому, чтобы не повредить параболитическое зеркало. Отклонения от формы даже в несколько миллиметров приводят к заметному падению уровня сигнала и ухудшению изображения.

Важно также установить срез облучателя конвертора точно в фокусе антенны. Положение конвертора обычно задается конструкцией держателя, но допускает люфт в несколько сантиметров. Точное положение конвертора можно определить экспериментально путем перемещения его в держателе с одновременной оценкой качества картинки на экране. Это, конечно, возможно, если конвертор будет доступен после установки антенны на место, а не «повиснет» в воздухе в полутора метрах от стены, загородившись от вас зеркалом антенны. Можно предложить два способа. Вы можете узнать точное положение конвертора у продавца вашей системы, а можете провести «тренировочную» установку в доступном месте и, определив точное положение конвертора, переставить антенну на окончательно выбранное место.

Иногда значение имеет не только точная установка конвертора в фокусе антенны, но и правильное положение относительно оси вращения конвертора. Обычно каждый конвертор (имеются в виду конверторы, монолитно объединенные с поляризатором и облучателем, которые используются для установки антенны на один спутник) имеет метку «верх», которая связана с положением встроенного поляризатора (соответствует вертикальной поляризации). Однако точно вверх эта метка должна смотреть только на географической долготе спутника. Если вы устанавливаете антенну западнее или восточнее, чем расположен спутник, то конвертор нужно повернуть в держателе вокруг своей оси (цвет. вкладка 10). Углы поворота конвертора в зависимости от географической широты и разницы между долготой места установки и спутника приведены на графике (рис. 67). Влияние положения спутника на качество приема тем заметнее, чем южнее (ближе к экватору) вы находитесь и чем дальше от вас (ниже над горизонтом) находится спутник. Заметим, что для многих современных мощных спутников, расположенных не слишком низко над горизонтом, этим эффектом можно пренебречь из-за запаса по мощности их сигнала. Однако если вы «ловите» сигналы на пределе возможностей вашей приемной системы, то правильный угол поворота конвертора может дать существенный вклад в улучшение качества изображения.

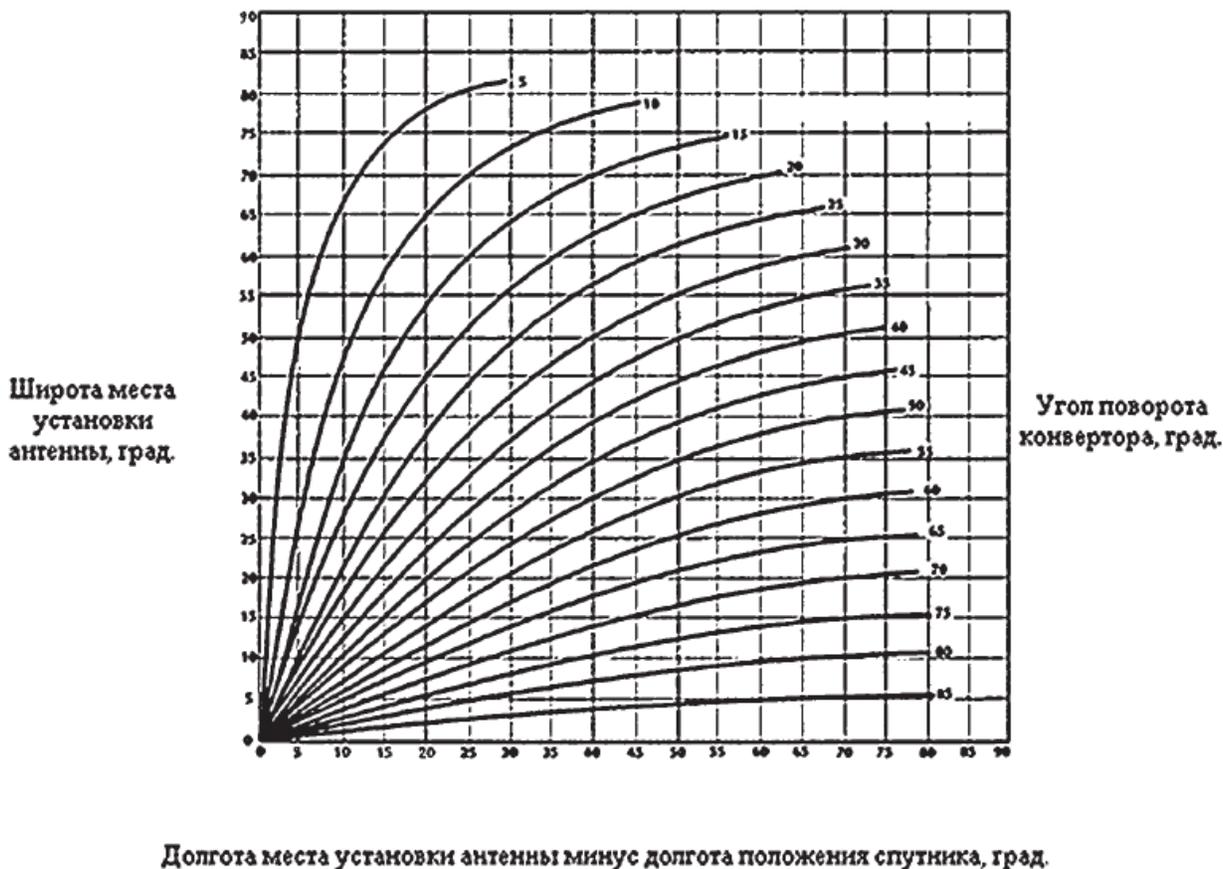


Рис. 67

Не имеет значения это правило и для конверторов, предназначенных для приема спутниковых сигналов с круговой поляризацией, например, для популярного пакета программ НТВ-Плюс. На таких конверторах метка отсутствует, и устанавливать их можно любым удобным способом.

Заметим, что если вы дополняете свою аналоговую систему для приема спутникового телевидения цифровым ресивером, то ваш старый конвертор может не подойти. Конверторы для приема цифрового телевидения характеризуются большей стабильностью частоты гетеродина, чем старые модели, предназначенные для приема аналоговых сигналов. Они обычно маркируются надписью «Digital». Все выпускаемые сейчас конверторы подходят для приема цифрового телевидения. Конверторы без такой надписи, произведенные несколько лет назад, могут подойти для приема цифрового телевидения, а могут и не подойти. Если у вас такой конвертор, то можно сначала попробовать принять цифровые сигналы на него. Если прием окажется невозможным, то конвертор придется заменить.

Установка угла места и азимута. Выставьте угол места антенны, что достаточно просто сделать для прямофокусных антенн. Для этого можно воспользоваться специальным угломерным прибором или элементарными приспособлениями – отвесом и транспортиром. Затем с помощью компаса наведите антенну в азимутальном направлении.

Вычислить углы места и азимуты, зная орбитальную позицию спутника и координаты точки установки антенны, можно по соответствующим формулам или при помощи компьютерной программы SATTV, которую можно скачать по адресу: <http://www.telesputnik.ru/equipment/sattv.html>. Для примера мы приводим значения угла места и азимута для некоторых городов Украины для спутников Hot Bird 13° восточной долготы (табл. 3).

Таблица 2

Город	Hot Bird 1—5 13° восточной долготы	
	азимут, °	угол места, °
Днепропетровск	209	32
Донецк	212	30
Киев	202	30
Одесса	204	34
Севастополь	208	35

Заметим, что точная предварительная установка угла места для офсетной антенны является достаточно сложной задачей. Дело в том, что офсетная антенна как бы вырезана из параболоида вращения немного сбоку от его центра. Поэтому направление, совпадающее с осью параболоида вращения на офсетной антенне, не зная ее конструктивных параметров, определить фактически невозможно. Для каждой конкретной конструкции офсетной антенны должен быть известен угол между плоскостью среза этой антенны и плоскостью среза центрофокусной антенны, направленной в ту же точку. Измерить его на готовой антенне очень сложно, а узнать обычно можно только из документации производителя антенны. Очень приближенно можно считать, что на территории бывшего СССР большинство видов полярных антенн нужно устанавливать так, чтобы плоскость среза зеркала антенны была примерно вертикальна. Дело в том, что углы места для наиболее популярных спутников, принимаемых на европейской части бывшего СССР, находятся в диапазоне 20-300. А характерные углы для офсетных антенн, о которых мы говорили выше, лежат в этом же диапазоне.

Подключение аппаратуры. Конвертор соединяется с ресивером коаксиальным кабелем. Обращаем ваше внимание на то, что кусок кабеля нужно сразу отмерять с учетом окончательного пути его прокладки с запасом на все изгибы и повороты и возможные перемещения телевизора внутри ваших комнат. Для подключения кабеля к разъему используются так называемые F-коннекторы, которые надеваются на кабель без пайки (цвет. вкладка 11).

Для настройки вам нужно иметь возможность одновременно перемещать антенну в вертикальном и горизонтальном направлении и видеть экран телевизора. Поэтому подключение аппаратуры нужно производить рядом с антенной.

При подсоединении спутниковой антенны к телевизору необходимо изучить инструкцию по технической эксплуатации телевизора и только после этого приступить к подключению.

Окончательная настройка антенны. Затяните винты, регулирующие перемещение антенны в азимутальном и угломестном направлениях таким образом, чтобы иметь возможность с некоторым усилением перемещать антенну вверх-вниз и вправо-влево, а без приложения усилий антенна оставалась бы неподвижной. После этого начните систематически сканировать небо вокруг выбранной вами точки прицеливания. Если вы используете аналоговый ресивер и выполнили все предыдущие пункты верно, то в конце концов вам удастся «поймать» на экране телевизора зашумленную телевизионную картинку. Убедившись, что вы поймали необходимый вам спутник, а не один из соседних, проведите «тонкую» подстройку, основываясь на качестве телевизионного изображения.

Здесь может быть полезен измеритель уровня сигнала – так называемый сатметр. Однако если у вас его нет, не расстраивайтесь. В большинстве случаев для наиболее популярных спутников антенну можно вполне качественно настроить и без него.

Заметим, что грубую настройку имеет смысл проводить по самому мощному каналу, а окончательную точную настройку – по самому слабому. Убедившись, что улучшить картинку больше нельзя, затяните окончательно весь крепеж на антенне, проложите кабель от антенны к месту просмотра и установите всю аппаратуру в стойке под телевизором.

В случае цифрового ресивера выполнить эту операцию значительно сложнее. Дело в том, что аналоговый прием имеет очень широкий диапазон уровней входных сигналов – от того состояния, когда что-то становится видно сквозь помехи, до идеального приема. Причем аналоговый приемник отрабатывает изменение входного сигнала мгновенно, меняя соответственно картинку на экране. Цифровой прием характеризуется пороговым характером появления изображения. Переходный этап, когда изображение дрожит и срывается, имеет очень узкий диапазон уровней входного сигнала. Положение осложняется еще и тем, что цифровой ресивер не сразу «схватывает» картинку. Ему даже при достаточном уровне входного сигнала необходимо несколько секунд для обработки изображения.

Поэтому можно предложить следующие варианты настройки системы с цифровым ресивером. Во-первых, можно одолжить где-нибудь аналоговый ресивер для настройки. На наиболее популярных спутниковых группировках, таких как Hot Bird 1–5, Галс-1,2/Бонум-1, Astra A-G, Thor-1-3/Intelsat-707, в настоящее время существуют как цифровые, так и аналоговые телевизионные каналы. После настройки антенны «по аналогу» можно подключать цифровую аппаратуру.

Если аналоговый ресивер взять негде, то остается вариант настройки по измерителю уровня сигнала. При этом необходимо помнить, что сатметр можно подключать к конвертору отрезком кабеля длиной до 10 метров. При кабеле в несколько десятков метров сатметр не применяется. Существуют различные модели цифровых спутниковых ресиверов со встроенным измерителем уровня цифрового сигнала.

В случае настройки по уровню сигнала особое значение приобретает точная установка азимута. Спутники на геостационарной орбите расположены через несколько градусов. Поэтому, настроившись по уровню сигнала не на тот спутник и выставив параметры цифрового сигнала (частоту, SR, FEC), вы ничего не увидите, а понять, что именно вы настроили неправильно, будет очень сложно.

Значительно расширит ваши возможности приемная спутниковая установка с системой позиционирования на разные спутники. Такая система позволяет принимать до 100 и более аналоговых каналов и еще большее количество цифровых.

Рассмотрим конструкцию антенны, которая может настраиваться на несколько спутников. Такая антенна отличается конструкцией подвески, которая, как уже упоминалось выше, называется «полярная». Эта подвеска была изобретена для астрономических инструментов и имеет такое название потому, что ось, вокруг которой вращается зеркало антенны, параллельна оси вращения Земли. А она, как известно, направлена на Полярную звезду.

В данной конфигурации угол подъема полярной оси примерно равен по абсолютной величине географической широте точки установки антенны. Поправка «примерно» возникает из-за того, что Земля имеет не идеально шарообразную форму, а приплюснутую со стороны полюсов. Угол места выбирается из расчета направленности оси антенны параллельно экваториальной плоскости. Для разворота оси антенны в направлении на спутники, находящиеся на геостационарной орбите, используется так называемая поправка, или угол деклинации.

Выбор места для установки антенны с позиционированием. Все рекомендации по выбору места для антенны с фиксированным положением справедливы и для антенны с позиционированием. Более того, они становятся еще более жесткими. Чем больше вы хотите увидеть спутников, тем более открытым должен быть горизонт перед антенной. Кроме того, ничто не должно препятствовать вращению самой антенны в процессе позиционирования.

Монтаж и установка антенны. Все рекомендации по сборке антенны также справедливы – за исключением замечания об угле поворота конвертора. Дело в том, что в случае позиционирования антенны на несколько спутников для каждого из них плоскости поляризации развернуты под своим углом. Поэтому в данном случае используется магнитный поляризатор с токовой регулировкой плоскости поляризации. Такой поляризатор вставляется в волноводный тракт между облучателем и самим поляризатором.

Заметим, что возможность управления магнитным поляризатором предусмотрена только в ряде аналоговых ресиверов. Нам пока не известны модели цифровых ресиверов, предназначенных для управления магнитным поляризатором. Поэтому если вы дополняете вашу систему с аналоговым ресивером с встроенным или внешним позиционером цифровым ресивером, то целесообразно оставить функции позиционирования и управления магнитным поляризатором за аналоговым ресивером, а при помощи цифрового ресивера осуществлять только выбор программ. При этом возникает много особенностей, связанных с управлением конвертором.

Предварительная установка углов. О том, как предварительно должны быть выставлены углы подъема полярной оси, угол места и угол деклинации, мы написали выше. Очень важно установить строго вертикально ось, вокруг которой поворачивается антенна, чтобы траектория движения вращающейся антенны была как можно ближе к дуге, на которой расположены спутники над горизонтом. Не менее важно установить вертикально так называемый «стакан» – часть подвески, которая надевается непосредственно на отрезок трубы, являющейся осью, вокруг которой вращается антенна. Опытные установщики при очень точно выполненных предварительных установках умудряются практически сразу добиться того, что почти точно «попадают» в дугу, на которой расположены спутники. Сигналы с них видны сразу после подключения аппаратуры, и настройки антенны фактически не требуются.

Подключение аппаратуры. Рекомендации по подключению аппаратуры в общем повторяют вышеизложенные. Возникает только одно дополнение. Для управления ак-

туатором прокладываются четыре электрических провода и для управления поляризатором еще два или три в зависимости от типа поляризатора. На антенне они подключаются к клеммам актуатора и поляризатора, а на ресивере – к соответствующим клеммам по инструкции к ресиверу. Эти провода проводятся параллельно сигнальному коаксиальному кабелю. Сейчас обычно используются специальные кабели, где в единой изолирующей оболочке проложены сигнальный коаксиальный кабель и семь одиночных электрических проводов. В последнее время появились модели актуаторов, управляемых по сигнальному кабелю без подключения дополнительных проводов.

Окончательная настройка антенны. Если после монтажа, установки углов и подключения аппаратуры вы сразу же не увидели сигнала ни с одного из спутников хотя бы в очень плохом качестве, то это означает, что вы где-то неправильно выставили углы. В этом случае вам, скорее всего, не удастся с приемлемой точностью совместить траекторию движения антенны с дугой, на которой расположены геостационарные спутники. Следовательно, нужно внимательно проверить начальные установки.

Если же вы все-таки что-то видите, то переходите к точной настройке антенны. По сравнению с настройкой фиксированной антенны ваша задача существенно усложняется. Вместо двух степеней свободы – азимута и угла места – вы имеете три: азимут, угол места и поправка (угол деклинации). Возможные отклонения от правильной настройки приведены на рис. 68. Какое из отклонений имеет место в вашем случае, обычно определяется по трем спутникам – центральному и крайним западному и восточному. Опытные установщики для определения направления, в котором нужно сдвинуть антенну для улучшения сигнала, просто отгибают соответствующий край зеркала антенны на несколько сантиметров (но так, чтобы после снятия нагрузки зеркало антенны приняло первоначальную форму за счет своих упругих свойств) и следят за изменениями сигнала.

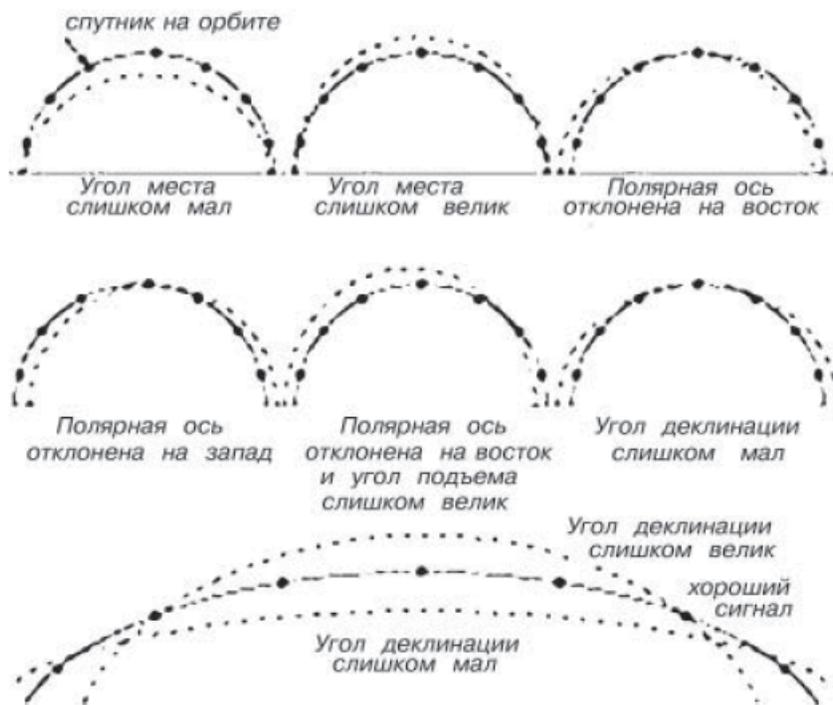


Рис. 68

Отдельной серьезной задачей является программирование позиционера на все необходимые вам спутники и программирование ресивера на телевизионные каналы, соответствующие этим спутникам. Заметим, что число каналов для такой системы может превышать 100 и программирование превращается в отдельную задачу, занимающую иногда до нескольких часов.

Настройка такой системы только с цифровым ресивером без аналогового теоретически возможна, но практически доступна только специалистам со специальной измерительной аппаратурой. Интересным является вариант цифроаналогового ресивера со встроенным позиционером. Такой аппарат является универсальным прибором, позволяющим принимать фактически все, что возможно принять в режиме free-to-air, то есть в некодированном виде. В настоящее время нам известен только один такой прибор, выпускаемый гонконгской фирмой Praxis.

Мы рекомендуем самостоятельно устанавливать фиксированную антенну всем тем, кто имеет инженерные способности на самом среднем уровне. То есть сделать это может большинство людей. Антенну с позиционированием самостоятельно установить и настроить значительно сложнее. Мы можем рекомендовать самостоятельное осуществление такой установки только лицам с ярко выраженными способностями к техническому творчеству.

Мобильное спутниковое телевидение

Сама по себе идея мобильного спутникового телевидения не нова, она так же естественна, как развитие техники и различных технологий. Если можно смотреть телевидение на далеком острове в океане, то почему бы не смотреть его на огромном океанском лайнере, который сам по себе как небольшой остров. И если можно смотреть телевидение, вещаемое со спутника, на громадном лайнере, вопреки значительной качке на широкой океанской волне, то почему бы не смотреть его на небольшой яхте во внутреннем водоеме, где высота волн не превышает полметра и качка даже для маленького суденышка совсем невелика. А может быть, можно поставить антенну на крышу междугородного автобуса и смотреть телепрограммы, проезжая по ровному, широкому хайвэю, где нет ни одной неровности, а скорость автобуса не так уж и велика, и есть возможность отследить направление на спутник? Если для слежения за первыми несовершенными спутниками приходилось строить сложнейшие устройства удержания направления, то чем эта ситуация отличается от движущегося по земле или морю объекта? Необходимо только быстрее вращать антенну.

Однако на первых порах оборудование было достаточно громоздким, дорогим и малоприспособленным для небольшого судна или передвигающегося объекта. Еще в начале 90-х годов спутниковое телевидение в движении можно было принимать на отечественные разработки типа, например, МАП-60 (цвет. вкладка 12–13). Антенный пост оборудования, оснащенный гиростабилизатором (устройством для подавления качки на воде), обеспечивал установку антенны до 1,2 метров диаметром. Оборудование и программное обеспечение давали возможность выполнять поиск требуемого спутника, «захват» и удержание с требуемой точностью направления антенны на спутник при воздействии внешних возмущающих воздействий (вибрация, удары волн, качка, маневры судна). Конечно, высокие энергетические характеристики (напряжение 220 В, мощность 300 Вт),

громоздкость оборудования (вес не менее 100 кг) предъявляли высокие требования к объекту, на котором это оборудование устанавливалось.

В настоящее время на смену этому громоздкому оборудованию пришло высококачественное оборудование небольших габаритов американской фирмы KVH Industries (например, оборудование KVH Trac-Vision G4,G6 имеет антенный пост с размерами 66 см (диаметр) x 68 см (высота) при весе 24,49 кг), что сделало его доступным для маломерных судов. Конечно, высокая стоимость оборудования предъявляет специфические требования к владельцам, однако часто это тоже преодолимое препятствие.

Остановимся немного подробнее на оборудовании TracVision G6 (цвет. вкладка 14–15) как наиболее приемлемом с точки зрения соотношения цена/качество и, что немало важно, предлагаемым, как минимум, двумя фирмами. Диаметр антенны 60 см обеспечивает, по крайней мере, прием программ НТВ-Плюс. По сообщениям фирмы KVH Industries, в настоящее время она готовит комплект TracVision G8 с антенной 84 см, что еще более расширит возможности приема спутниковых программ. TracVision G6 обеспечивает поиск и сопровождение спутника, запрограммированного пользователем, при движении, а также устойчивый прием сигнала. TracVision G6 оснащен простым в использовании интерфейсом и поисковым программным обеспечением, позволяющим принимать и отслеживать сигналы цифрового спутникового телевидения, данных и музыкальных станций – как во время стоянки, так и при плавании. С помощью «Select Satellite Menu» (выбор спутников в меню) и определяемых программными средствами спутниковых данных, можно по своему выбору определить необходимые спутниковые услуги ТВ-провайдеров: российский «НТВ-Плюс», а также «Astra», «Astra-2», «Hotbird», «Hispasat», «Thor», «Sirius» и «Turksat». В качестве дополнительной опции TracVision G6 позволяет выбрать два дополнительных спутника – работающий в стандарте DVB и американский спутник DirecTV, для того, чтобы система могла производить поиск в пределах всей мировой сети спутниковых телевизионных систем.

Современные функции приемника TracVision и его конструкция обеспечивают надежный доступ к программам с популярных европейских спутников во время плавания. Полностью стабилизированная 3-осевая система гарантирует непрерывный прием программ спутникового телевидения во время стоянок, при качке, при плавании на высокой скорости. С помощью гироскопически стабилизированных и проверяемых по земле датчиков прибора GyroTrac измеряется боковая и килевая качка судна, а также азимут судна; при этом антенна TracVision G6 остается в постоянном положении в течение короткого промежутка времени поиска выбранного спутника. Это означает возможность быстрого поиска спутника независимо от движения и скорости судна. Кроме того, GyroTrac предлагает дополнительное преимущество – он может выдавать эти же сверхточные и гироскопически стабилизированные данные об азимуте, которые используются для ориентации антенны, с целью улучшения работы автопилота, радара или другого бортового электронного оборудования, которому необходима цифровая или аналоговая информация об азимуте. После того как приемник нашел спутник, два находящихся на антенне гироскопа начинают выполнять функцию «закрытого в петлю» слежения за спутником. TracVision G6 использует мощность обоих сигналов слежения CONSCAN и гироскопы антенны.

Данная система включает в комплект цифровой гироскопас GyroTrac. Он легко подсоединяется к остальному бортовому электронному оборудованию и обеспечивает сверхточные, гироскопически стабилизированные данные об азимуте.

Существуют также аналогичные системы оборудования, разрабатываемые другими компаниями. Это системы Seatel (США) (цвет. вкладка 16–17), OrbiScan (Хорватия) и др.

Теперь немного о наземном применении оборудования для приема спутникового телевидения в движении. Такие системы также существуют и разрабатываются теми же компаниями, что производят оборудование для осуществления приема спутникового телевидения на морских судах.

Та же фирма KVH Industries предлагает ряд оборудования для автомобилей и автобусов. Отличительная его особенность – небольшие размеры антенны и обтекаемая форма радиопрозрачного колпака. На рисунках (цвет. вкладка 18–19) можно видеть, как система TracVision С3 выглядит на рейсовом автобусе.

Антенны для мобильной связи

Стандартные телефонные антенны бывают трех типов: выдвижные, невыемные и встроенные. Для большинства мобильных телефонов, кроме стандартных антенн, поставляемых в составе аппарата, выпускаются и другие – различных размеров, выдвижные и невыемные, гибкие, длинные, короткие и со встроенными светодиодами. Однако далеко не всегда нужное качество связи удается обеспечить без применения дополнительной автомобильной или стационарной антенны.

Стационарная антенна используется для улучшения качества связи в зданиях и подвальных помещениях, а также для обеспечения связи вне зоны приема в пригороде. Такая антенна устанавливается на улице так же, как и телевизионная.

Автомобильные антенны главным образом служат для того, чтобы вынести источник приема и передачи сигнала за металлический корпус машины. С одной стороны, это избавляет владельца от воздействия электромагнитного излучения, а с другой – улучшает качество связи.

В автомобиле рекомендуется использовать двухдиапазонную антенну GSM 900/1800. В стационарных дачных условиях необязательно использовать двухдиапазонные антенны, поскольку обычно они имеют меньшее усиление, чем однодиапазонные, а покрытие за городом и на краю зоны всегда обеспечивается в диапазоне GSM 900.

Автомобильные антенны для телефона отличаются, в первую очередь, способом крепления: изнутри на стекле автомобиля или снаружи (цвет. вкладка 20–22). В последнем случае приходится сверлить кузов машины, чтобы запустить внутрь кабель от антенны и зафиксировать саму антенну на крыше, что не всегда приемлемо. Конечно, антенны этого типа должны обеспечивать более качественную работу телефона, но неудобство установки уменьшает их популярность.

Существуют антенны на магнитном основании, которые могут быть установлены практически на любую часть кузова. Недостатком этой разновидности крепления является его невысокая прочность: на большой скорости или при сильной тряске антенна может сползти.

Более удобный вариант крепления внешней антенны – установка ее на стекло. При этом антенна прочно крепится, как правило, к лобовому стеклу и затем уже подключается к комплекту громкой связи или непосредственно к телефону. Надежность подобного метода достаточно высока, проблем с креплением не возникает. Антенна крепится с помощью двухсторонней липкой ленты, аналогичной применяемой при установке антенн для магнитол.

В простейшем случае в качестве антенны используется металлический штырь, длина которого равна $1/4$ длины волны (около 8 см для GSM900 и 4 см в GSM1800). При этом коэффициент усиления такой антенны полагается равным 0 дБ, то есть антенна как бы не обладает никаким усилением. Тем не менее, даже такие «неусиливающие» антенны могут улучшить работу телефона, поскольку его собственная антенна обычно имеет существенно меньшую длину. Более сложные антенны называются коллинеарными, они состоят из двух и более штырей, соединенных между собой фазосдвигающими катушками индуктивности. Такие антенны могут иметь коэффициент усиления 3–6 дБ и обеспечивают более надежную связь. Существуют и двух-трехдиапазонные, и комбиниро-

ванные антенны, которые можно применять с сотовыми телефонами различных стандартов, в том числе и CDMA.

Кстати говоря, использование внешней антенны в большинстве случаев увеличивает срок работы телефона от аккумулятора, так как в зависимости от уровня сигнала варьируется и мощность передатчика телефона, а в случае применения внешней антенны она меньше.

Для телефонов используются в основном внешние штыревые антенны, логопериодические и антенны типа «волновой канал». Штыревая антенна дает усиление до 3–7 дБ, излучая волны по кругу. Антенны типа «волновой канал» и логопериодические внешне выглядят как дециметровая телевизионная антенна и дают усиление до 7-15 дБ в одном направлении.

Стационарная антенна устанавливается на кронштейне или мачте на стене или крыше и направляется в сторону базовой станции, сигнал которой принимается устойчиво. «База» совсем необязательно должна быть ближайшей, так как все зависит от расположения антенны и рельефа местности.

Ориентацию антенны необходимо выполнять очень внимательно, медленно вращая антенну «по горизонту» и наблюдая за индикатором уровня сигнала на дисплее мобильного телефона или с помощью функции инженерного меню – Net monitor. Так как изменение напряженности поля отображается на дисплее не сразу, а через 5-10 секунд, вращать антенну нужно очень медленно, чтобы не проскочить направление на самый сильный сигнал. В меню сотового телефона необходимо включить «непрерывный поиск сети». Пока нет регистрации в сети, индикатор на дисплее многих моделей телефонов работать не будет, поэтому для настройки в тяжелых условиях желательно пользоваться телефоном со включенным Net monitor. В этом случае уровень принимаемого сигнала показывается в дБ, что гораздо точнее индикатора сотового телефона.

Часто больший эффект дает установка антенны на кронштейне за окном на двухметровом кабеле, чем на 10-метровой мачте в 10 метрах от дома. Конечно, чем выше, тем лучше, но в пределах одного метра (уже на высоте установки) нужно искать лучшее место, а оно может быть на 30–40 см ниже или выше планируемого. От длины кабеля зависит коэффициент усиления всей антенной системы, подключенной к сотовому телефону. Паспортные данные внешних антенн не учитывают длины кабеля.

На границе зоны покрытия особенную важность приобретает качество согласования антенны с кабелем. Настройка антенн типа «волновой канал» производится в заводских условиях.

На большинстве телефонов есть разъем для внешней антенны. Кроме того, для каждого типа телефона есть так называемый антенный переходник, который подключается к указанному разъему и представляет собой короткий кусок кабеля, с одной стороны которого находится специфический телефонный высокочастотный разъем, а с другой – стандартный высокочастотный разъем. При включении переходника в телефон происходит автоматическая коммутация антенного тракта телефона на внешний разъем. Обычно затухание в антенном переходнике не превышает 1дБ.

Если кабель между антенной и телефоном не больше 3 метров, то потери в нем можно не учитывать. При большей длине линии связи вопрос выбора кабеля приобретает первостепенную роль. Причем имеет значение не только затухание, но и волновое сопротивление кабеля, поэтому лучше использовать кабель с волновым сопротивлением 50 Ом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Нестеренко И. И., Жужевич А. В.* Выбери антенну сам. – М.: Солон-Р, 1999.
2. *Жовна И. А.* Самодельные телевизионные антенны. – К.: Техника, 1995.
3. *Драбкин А. Л., Коренберг Е. Б., Меркулов С. Е.* Антенны. – М.: Радио и связь, 1995.
4. *Казанский Н.* Как сделать антенну и заземление. – М.: ДОСААФ, 1956.
5. <http://www.teleradiocom.ru/>
6. <http://www.telesputnik.ru>
7. <http://www.softo-art.narod.ru/>
8. <http://www.tconnect.spb.ru>
9. <http://perkis.narod.ru/index.html>
10. lib.qrz.ru
11. <http://www.lr.kiev.ua>
12. <http://teleantena.ru/>
13. <http://sputnik-tv.in.ua/>
14. <http://www.kolcosat.ru/index.html>
15. <http://mirantenn.com.ua>
16. <http://www.diagram.com.ua>
17. <http://www.sat.ru>
18. <http://www.satnn.ru>