

Д. М. ВЫСОКОВСКИЙ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ АНТЕНН
«ВОЛНОВОЙ КАНАЛ»**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 17 XI 1952)

Антенны «волновой канал» состоят из активного вибратора и системы параллельных пассивных вибраторов — директоров, расположенных вдоль линии максимального излучения. Кроме того, обычно в такой антенне применяется пассивный рефлектор.

Настройка такой антенны достигается укорочением длины директоров по сравнению с длиной активного вибратора и подбором расстояния между директорами. Антенны этого типа в иностранной литературе обычно называют «антеннами Уда — Яги» по имени японских авторов, опубликовавших в 1926—1928 гг. результаты экспериментального исследования таких антенн ⁽¹⁾.

Однако приоритет в исследовании направленного действия системы пассивных настраиваемых излучателей (резонаторов) принадлежит русскому автору ⁽²⁾.

Японские исследователи установили следующие основные свойства антенн «волновой канал»: 1) резонансная зависимость усиления антенны в главном направлении (от активного вибратора вдоль линии директоров) от изменения длины директоров; 2) усиление антенны по напряженности поля пропорционально числу директоров; 3) антенны этого типа образуют очень узкие диаграммы направленности.

Для проверки этих данных нами было выполнено исследование антенн «волновой канал» на моделях ⁽³⁾. Результаты этого исследования, кратко излагаемые в настоящем сообщении, показывают, что опубликованные в ⁽¹⁾ данные по усилению и виду диаграммы направленности этих антенн неверны, причем источником ошибок была неправильная методика измерений, при которой приемный вибратор с измерительным прибором располагался непосредственно около исследуемой антенны, а не в ее волновой зоне.

Наше исследование дало следующие результаты: 1) резонансная длина директоров, при которой достигается максимальное усиление в главном направлении, зависит от числа директоров и в общем уменьшается с увеличением этого числа; 2) усиление антенны по напряженности поля пропорционально квадратному корню из числа вибраторов; 3) диаграммы направленности настроенных антенн «волновой канал» получаются более широкими, чем по ⁽¹⁾. Например, для антенны с 20 директорами ширина диаграммы между первыми минимумами (нулями) составляет около 40°, а не 10° (см. рис. 1).

Полученные экспериментальные данные были нами подтверждены также расчетным путем.

Методика расчета и исходные данные

Расчет антенн «волновой канал» основан на вычислении токов в вибраторах I_m из системы линейных уравнений

$$\sum_{m=1}^n Z_{km} I_m = E_k, \quad k=1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

коэффициентами которой являются величины собственных и взаимных импедансов Z_{km} . В рассматриваемом случае все $E_k=0$, кроме эдс активного вибратора, которую можно приравнять единице.

Расчет антенн «волновой канал» вначале наталкивался на трудности, связанные с обоснованным выбором импедансов, которые соответствовали бы настроенным системам с направленным действием.

Необходимо иметь в виду, что антенна «волновой канал» является остро настроенной системой. Небольшое изменение длины директоров,

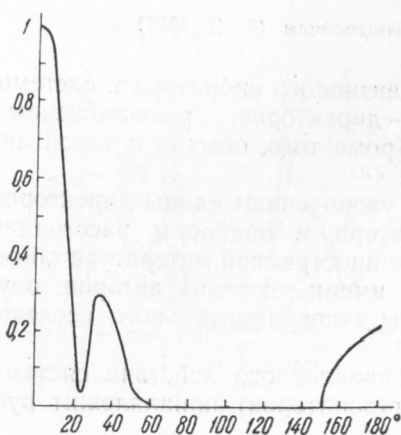


Рис. 1. Диаграмма направленности антенны с 20 директорами

в особенности их удлинение, ведет к полной расстройке системы и резкому нарушению ее направленных свойств. По нашим расчетным данным, изменение длины директоров с $2l = 0,435 \lambda$ до $2l = 0,450 \lambda$ приводит к тому, что направление максимального излучения меняется на 180° , и антенна с такими более длинными директорами будет излучать не вперед, а назад. Поэтому применение при расчете конкретной антенны упрощенных выражений для вычисления импедансов обычно не приводило к подтверждению экспериментальных данных.

Наиболее употребительной идеализацией при таких упрощенных расчетах (4) было то, что все вибраторы антенны считались полуволновыми, а укорочение директоров или удлинение рефлектора учитывались изменением величины и знака реактивной составляющей собственного импеданса вибраторов. Если при расчете конкретной антенны реактивная составляющая собственного импеданса точно соответствует действительному укорочению директоров в настроенной системе, то в целом вся совокупность коэффициентов уравнений (1) для токов при такой идеализации все-таки соответствует более длинным вибраторам, так как среди этих коэффициентов все взаимные импедансы, а также активная составляющая собственных импедансов брались как для полуволновых вибраторов.

Если учесть критичность настройки антенны, то становится ясным, что такая идеализация не является физическим приближением и не может служить для упрощения расчета, так как при таком грубом приближении расчет может привести даже к получению противоположно направленной диаграммы направленности. Поэтому при расчете оказалось необходимым возможно точнее учесть влияние укорочений и толщины вибраторов на величину собственных и взаимных импедансов.

В наших расчетах собственные импедансы вибраторов принимались в соответствии с современной строгой теорией (5), а взаимные импедансы вычислялись по методу наведенных эдс с точным учетом фактических укорочений вибраторов.

Расчет систем директоров производится для довольно толстых вибраторов с параметром

$$\Omega = 2 \ln \frac{2l}{a} \approx 10,$$

где a — радиус вибратора, $2l$ — длина вибратора.

Сопоставление результатов такого расчета с экспериментальными данными может служить основанием для оценки точности исходных теоретических величин импедансов.

Другим затруднением при теоретическом выводе зависимости характеристик антенн «волновой канал» от числа вибраторов и их настройки является в общем случае громоздкость расчета, связанная с вычислением определителей системы линейных уравнений (1) с комплексными коэффициентами.

Именно из-за этого до последнего времени в иностранных работах теория ограничивалась расчетом отдельных антенн с небольшим числом директоров (до 4) (4) и общими соображениями качественного характера о настройке антенны, основанными на удобной (но не оправдывающейся) идеализации амплитудно-фазовых соотношений в виде постулирования равенства амплитуд и разности фаз токов во всех вибраторах антенны (6).

Расчет при значительном числе вибраторов оказался возможным в результате применения рекуррентного метода вычисления токов в вибраторах (3). Расчет по этому методу возможен для идеализированных антенн, состоящих из вибраторов равной длины при равных расстояниях между ними, в то время как в реальных антеннах активный вибратор и рефлектор длиннее директоров, а расстояния между вибраторами также не всегда равны. Эта идеализация является, однако, достаточно верной для антенн со значительным числом директоров и, во всяком случае, более близко отражает действительные явления в антеннах «волновой канал», чем ранее упомянутые упрощения, допускавшиеся в теории. При обоснованном выборе исходных величин импедансов вычисленные токи дают усиление антенны и диаграмму направленности, которые оказываются близкими к экспериментальным данным.

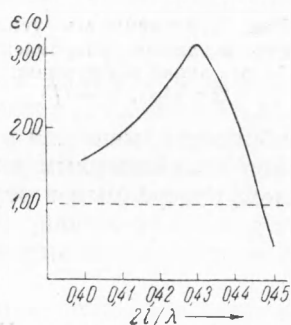


Рис. 2. Зависимость усиления в главном направлении от длины директоров (для антенны из 8 вибраторов)

Результаты расчета

Был выполнен расчет различных систем директоров от 0,41 до 0,45 λ при числе директоров до 25. По вычисленным в вибраторах токам определялся коэффициент направленности системы в прямом и обратном направлениях, входное сопротивление и для некоторых случаев построены полные диаграммы направленности. В результате расчета получено теоретическое подтверждение основных экспериментальных данных для характеристик антенн «волновой канал» в зависимости от изменения числа вибраторов и их настройки.

1. Установлено, что настройка систем с числом директоров до 20, обеспечивающая получение максимального направленного действия, возможна при изменении длины директоров в пределах от 0,44 до 0,42 λ (см. рис. 2). При длине директоров больше 0,44 λ система образует максимум излучения в обратном направлении, при длине меньше 0,42 λ токи, возбуждаемые в директорах, имеют малую амплитуду и при увеличении числа директоров общая направленность антенны растет мед-

ленно. Система директоров является, таким образом, остро настроенной и узкополосной, что соответствует экспериментальным данным по антенне «волновой канал».

2. Для систем настроенных директоров, дающих хорошее направленное действие, зависимость усиления антенны по напряженности поля в главном направлении от числа вибраторов имеет вид (см. рис. 3)

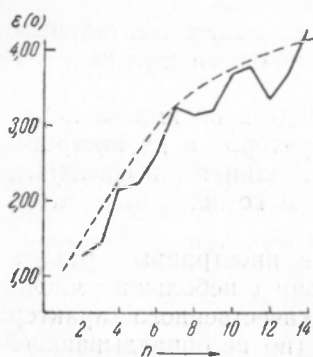


Рис. 3. Зависимость усиления в главном направлении от числа вибраторов.
 $2l=0,43\lambda$, $d=\lambda/3$

$$\varepsilon(0) = aV\bar{n},$$

где $\varepsilon(0)$ — усиление по сравнению с полем одиночного вибратора. Такого вида зависимость по экспериментальным данным имеет место в реальных антеннах.

3. Расчетные диаграммы направленности совпадают по положению минимума и бокового максимума (лепестка) с экспериментальными диаграммами направленности, что свидетельствует о близости полученных из расчета амплитудно-фазовых соотношений к амплитудам и фазам токов в вибраторах реальных антенн.

4. Активная составляющая входного сопротивления, вычисленная для различных систем вибраторов, меняется в пределах 30—50 ом. Эти данные хорошо согласуются с характерным для антенн этого типа низким входным сопротивлением, измеренным в реальных антеннах.

Поступило
10 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Yaгу, Proc. Inst. Rad. Eng., 16, 715 (1928). ² Р. В. Львович, Изв. электропром. слаб. тока, 2, 44 (1934). ³ Д. М. Высоковский, ЖТФ, 18, 9, 1234 (1948). ⁴ W. Walkinshaw, J. Inst. Electr. Eng., 93, III A, 598 (1946). ⁵ М. А. Леонтович, М. Левин, ЖТФ, 14, 9, 481 (1944). ⁶ R. M. Fishenden, E. R. Wiblein, Proc. Inst. Electr. Eng., 96, III, 39, 5 (1949).