

О ВЛИЯНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРАВЕРСЫ НА РАБОТУ АНТЕННЫ

Анатолий ГРЕЧИХИН (UA3TZ), Николай СЕЛЕЗНЕВ, г. Нижний Новгород

В предлагаемой статье авторы попытались уточнить имеющиеся в радиолюбительской литературе рекомендации относительно влияния металлической траверсы антенны на полуволновый вибратор. В результате были получены пригодные для практического использования величины поправок к длине вибратора в зависимости от соотношения размеров «вибратор—траверса», рабочей частоты и удаленности вибратора от конца траверсы, для трех основных способов его крепления.

Металлическая несущая траверса, на которой укреплены элементы вибраторной антенны, находится в ближнем поле антенны и может оказывать существенное влияние на ее параметры. В частности, размеры всех элементов антенны типа «волновой канал», рассчитанной без учета такого влияния, требуют коррекции.

В доступной авторам литературе не обнаружено подробного анализа этого влияния, методики его учета или эффективной не трудоемкой коррекции. В описаниях антенн в лучшем случае присутствует указание на то, что размеры даны для монтажа на металлической траверсе определенного диаметра [1] или имеется замечание о том, что в диапазоне 432 МГц большое влияние на свойства антенны оказывает способ крепления вибраторов к несущей конструкции [2]. В [3] рекомендуется удлинять вибраторы на 0.5...1 % при наличии металлической траверсы, а в [4] приводится рекомендация о необходимости учета влияния траверсы посредством увеличения расчетной длины вибраторов на 2/3 диаметра траверсы. В книге [5] отмечается, что для рефлектора и последнего директора условие «2/3» действует только в том случае, если соответствующие концы траверсы выступают не менее чем на пять диаметров траверсы. В русском переводе книги К. Ротхаммеля и А. Кришке [6] отмечаются приближенность и ограниченность эмпирического правила «2/3» и указывается на влияние способа крепления элемента, а также толщины и формы сечения траверсы. Там же, со ссылкой на работы DL6WU [7, 8], приводится краткая таблица поправок к длине пассивных элементов антенн «волновой канал» диапазонов 145 и 432 МГц.

Методика и модели

Влияние проводящей траверсы на резонансную длину полуволнового вибратора исследовалось посредством электродинамического моделирования с помощью программы WIPL [9], служащей для анализа излучающих и рассеивающих структур из проводов и пластин без учета потерь.

Моделировались три типовых способа симметричного крепления круглого вибратора к траверсе шестигранного сечения (рис. 1): 1 — вибратор изолирован от траверсы, оси вибратора и траверсы не пересекаются; 2 — вибратор изолирован от

траверсы, их оси пересекаются; 3 — вибратор соединен с траверсой (имеет место хороший электрический контакт — сварка), оси вибратора и траверсы пересекаются.

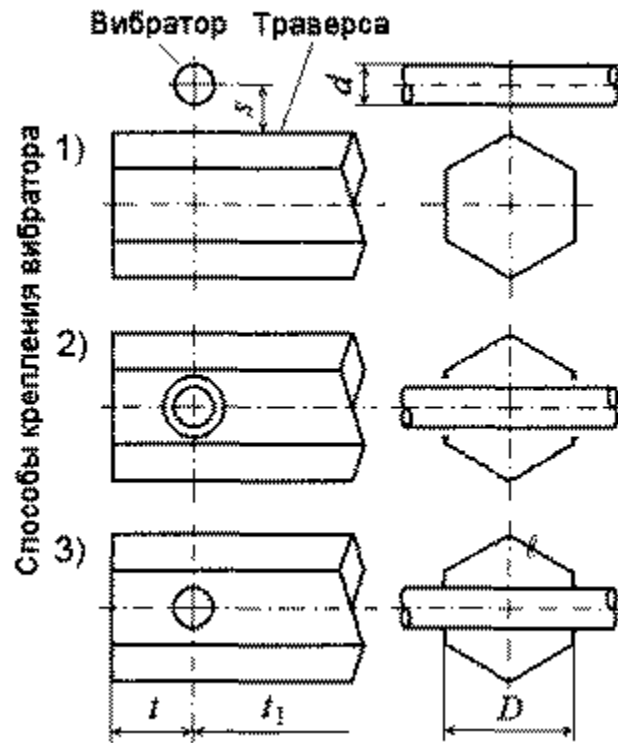


Рис.1

Считалось также, что на траверсе находится только один вибратор и ничто, кроме траверсы, не влияет на его резонансную длину. Влияние нерезонансных вибраторов в многоэлементных антеннах и коррекция их длины будут рассмотрены ниже.

Точная резонансная длина полуволнового вибратора данного диаметра при симметричном возбуждении на данной частоте определялась по условию $X=0$, где X — мнимая часть комплексного входного сопротивления $Z=R+jX$ вибратора. Сначала определялась резонансная длина L_0 в свободном пространстве (без траверсы), а затем аналогично резонансная длина L при данных условиях крепления элемента к данной траверсе. Необходимая величина поправки вычислялась как $l=L-L_0$ или в процентах как $S=(l/L_0)*100\%$.

Исследовалось влияние на резонансную длину способа крепления элемента на траверсе (1, 2, 3), диаметра b эквивалентной траверсы круглого сечения, длины выступающего конца траверсы t при креплении вибратора у ее конца, диаметра вибратора d и его длины (косвенно через частоту f , определяющую длину волны λ), а также влияние зазора s между изолированным вибратором и траверсой.

В табл.1 приведены интервалы относительных параметров моделирования,

результаты которого использованы в дальнейшем для получения эмпирических расчетных соотношений.

Таблица 1

Параметры	Интервалы
d/λ	0,001 ... 0,024
b/λ	0,0037... 0,118
t/λ	0,002 ... 0,37
s/λ	0,0 ... 0,06
d/b	0,0675 ... 0,81
t/b	0,135... 12,4
s/b	0,0 ... 2,02

Для шестигранной траверсы при способе крепления вибратора 3 размер $b=1,09D$.

Оценку «действующей длины» траверсы, т. е. такого расстояния вибратора от концов траверсы, увеличение которого уже практически не приводит к изменению величины поправки, можно сделать по результатам моделирования, приведенным на рис. 2. С учетом ограничений программы WIPL, для моделирования в диапазоне частот 150...1200 МГц во всем интервале диаметров траверсы 7,4...29,6 мм действующая длина t , принята равной 92 мм.

Результаты моделирования

На рис. 2—4 приведены выборочные графики, показывающие характер зависимостей поправки от параметров моделирования. Отметим некоторые общие закономерности.

Присутствие металлической траверсы, толщина которой больше толщины вибратора, при всех способах крепления приводит к заметному электрическому укорочению вибратора, т. е. к повышению его резонансной частоты. Для восстановления на прежней частоте резонансной длины надо увеличить расчетную длину вибратора на величину укорочения l .

Анализ показал, что этот эффект обусловлен поперечными токами траверсы. Поэтому его нельзя обнаружить моделированием траверсы с применением программ для тонких проводников (MININEC, ELNEC, MMANA), где учитываются только продольные токи проводников, даже если задавать достаточно большой диаметр провода.

Из рис. 2 следует, что чем длиннее вибратор, тем меньше величина поправки e . При частотах 600 и 1200 МГц замечен эффект резонанса траверсы, хотя и незначительный.

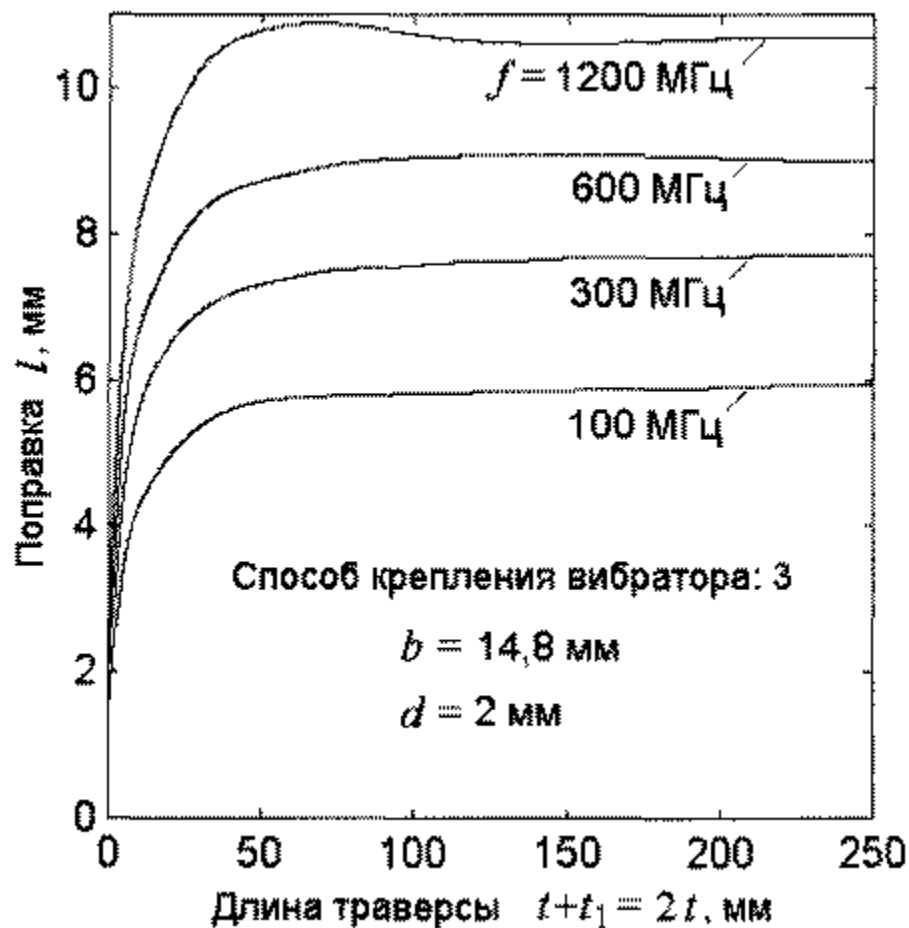


Рис. 2

Влияние траверсы сильнее всего сказывается в соединениях, выполненных по способу 3, а при креплениях вибратора без электрического контакта существенно зависит от величины зазора s в способе 1 и почти не зависит от размера щели (в разумных пределах) в варианте крепления 2.

Величина поправки при данной толщине траверсы по-разному зависит от толщины вибратора (рис. 3): для соединений с контактом типа 3 с ростом диаметра вибратора она заметно уменьшается, для соединений типа 2 без контакта — наоборот, увеличивается, а в способе 1 такая зависимость очень незначительна и практически отсутствует при нулевом зазоре. Влияние частоты сводится к умеренному росту величины l с ростом частоты — в 1,5...2 раза в диапазоне 100...1200 МГц.

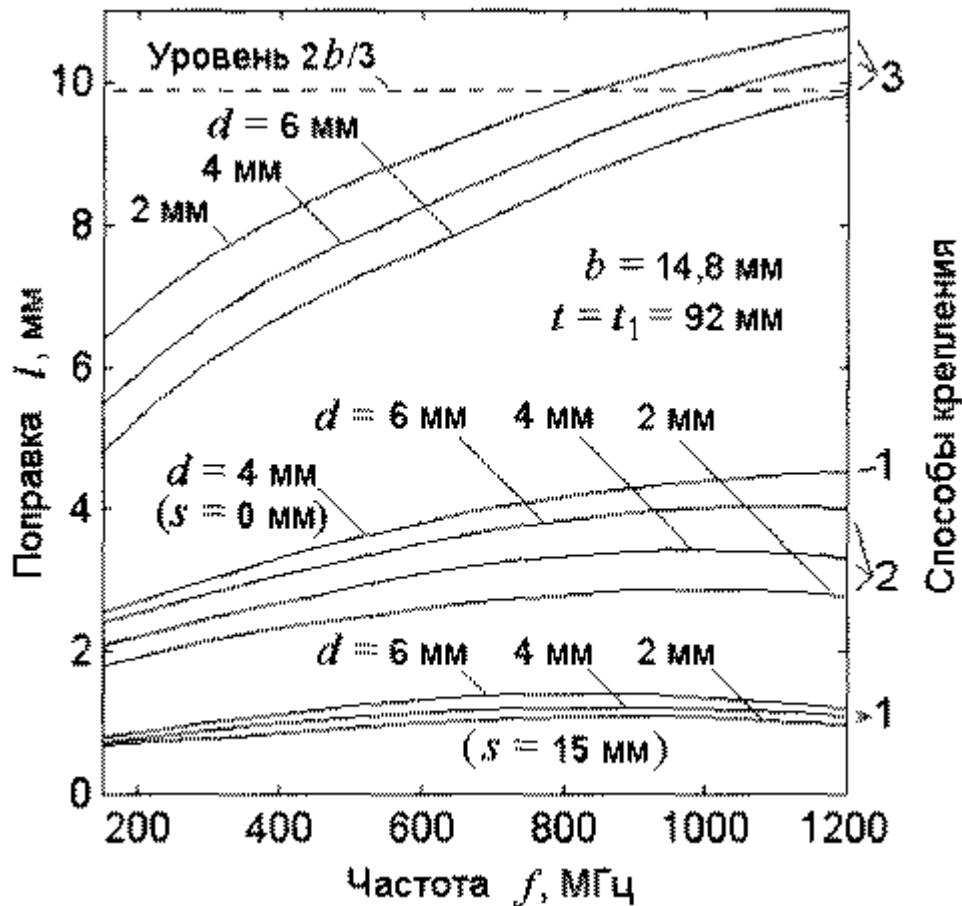


Рис. 3

Наиболее сильное влияние на величину поправки оказывает толщина (диаметр) траверсы (рис. 4). Так, при частоте 800 МГц, диаметре вибратора 2 мм (резонансная длина без траверсы 176,2 мм) и диаметре траверсы $b=14,8$ мм поправка составила 9,74 мм (что, кстати, в этом случае близко к величине $2b/3$, приводимой в литературе в качестве рекомендации по коррекции длины любого вибратора с соединением 3-го вида). Двукратное увеличение b привело к увеличению l в 2,47 раза, а двукратное уменьшение — к соответствующему уменьшению l в 2,59 раза.

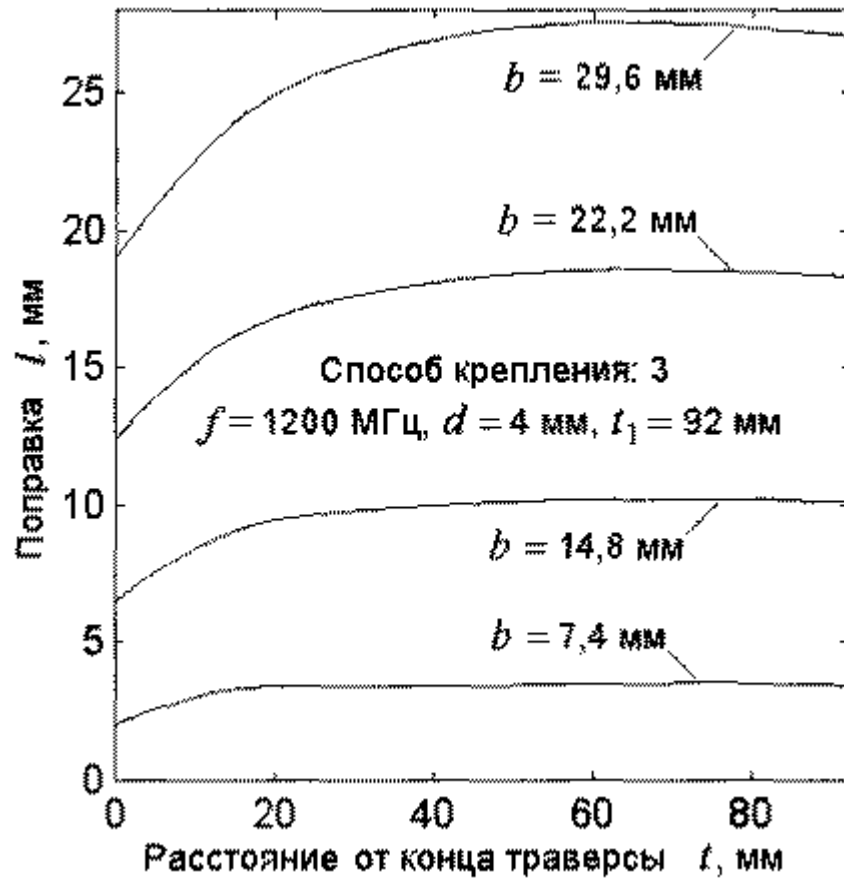


Рис. 4

Существенный рост поправки при удалении места крепления вибратора от конца траверсы определен до расстояний 3...5 диаметров траверсы (рис. 4), причем если вибратор укреплен на самом конце траверсы ($t=0$), то величина l может составлять примерно 60...70 % от максимальной.

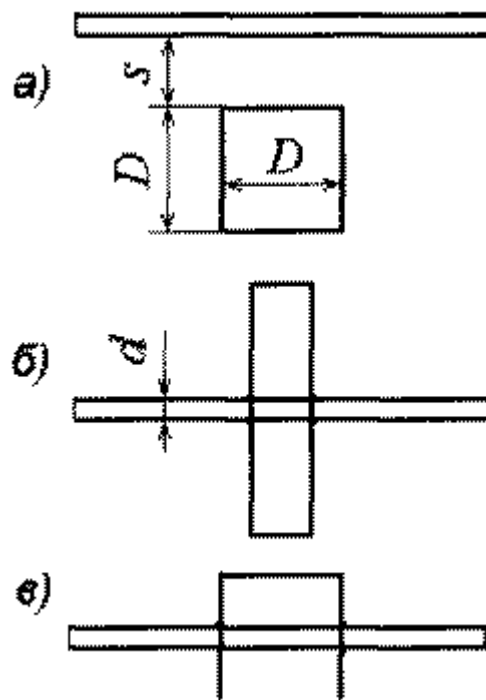


Рис.5

На рис. 5 приведены эскизы нескольких моделей с прямоугольным и квадратным сечениями траверсы. На модели по рис. 5,а сделаны расчеты поправок для сравнения с аналогичным способом крепления (1) на шестигранной траверсе при одинаковых эквивалентных для 3-го способа диаметрах круглого сечения ($b=14,8$ мм). Это сравнение отражено на рис. 6, из которого следует, что в данном случае, когда вибратор параллелен одной из граней квадратной траверсы, влияние такой траверсы заметно сильнее. Диаметр траверсы круглого сечения, эквивалентный квадратной траверсе с креплением, выполненным по способу 3 (рис. 5, г), считается как $b=1,14D$.

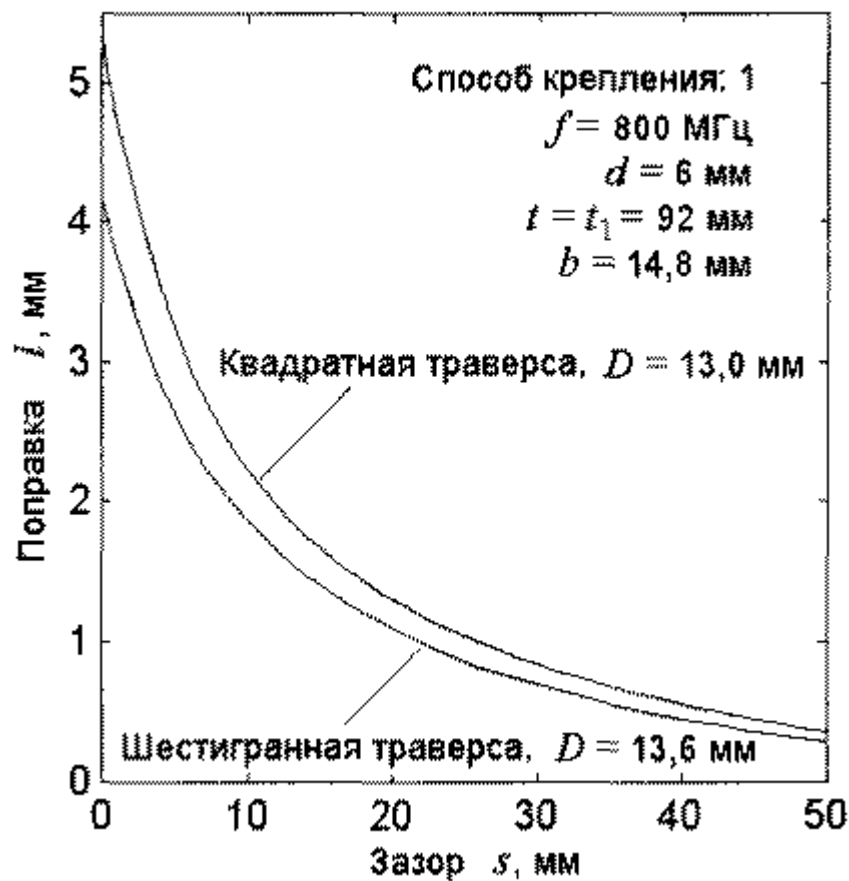


Рис.6

Рис. 5 дает некоторое представление о зависимости влияния траверсы от формы ее сечения и расположения вибратора. Все модели на рис. 5 расположены сверху вниз по возрастанию поправки на длину вибратора при постоянной площади сечения траверсы и прочих одинаковых параметрах.

Практическое применение

По результатам моделирования для разных способов крепления вибратора к траверсе получены эмпирические выражения, связывающие величину необходимой поправки с исходными данными (размеры и частота). Для нахождения этих зависимостей использовались процедуры множественной регрессии (Stat-graphics plus v.2.1 [10]). Среднеквадратическая погрешность расчета относительной величины поправки l/b по формулам составляет 0,0115 для способа крепления 1, 0,00758 — для способа крепления 2 и 0,0132 — для способа 3. Формулы расчетов весьма громоздки и здесь не приводятся.

По полученным формулам составлены расчетные программы. Тексты программ: русскоязычной boom_r.bas и англоязычной boom_e.bas на языке Turbo-Basic, а также исполняемые файлы соответственно boom_r.exe и boom_e.exe можно найти на сервере журнала «Радио» в Интернете <<ftp://ftp.radio.ru/pub/2002/09/boom>>. Ввод данных производится в режиме диалога с ограничениями в соответствии с табл. 1.

Поскольку программы работают по относительным размерам, частотный диапазон для расчетов не ограничен диапазоном моделирования.

В табл. 2 приведены для сравнения значения поправок (способ крепления 3) для частоты 432 МГц, полученные DL6WU [8] для неизвестного диаметра элемента d и рассчитанные по нашей программе для трех значений d .

Таблица 2

b мм	b/λ	l, мм, по [8]	l, мм, по программе boom e		
			d=2	d=4	d=6
7	0,010	2	2,75	2,19	—
10	0,015	3,5	4,79	3,92	3,59
14	0,020	6	7,79	6,77	6,08
21	0,030	11,5	13,48	12,41	11,49
28	0,040	18	19,52	18,48	17,52
35	0,050	26	25,77	24,78	23,83

Нерезонансные вибраторы

Полученные результаты можно применять и для коррекции длины нерезонансных пассивных вибраторов антенн «волновой канал». Для этого сначала надо рассчитать относительную величину δ поправки для резонансного вибратора при тех же условиях. В программе boom выполняется пересчет абсолютной поправки t (в миллиметрах) в относительную δ (в процентах). Затем эту же величину относительной поправки δ применить к расчетной (без учета влияния траверсы) длине пассивного вибратора и получить в результате абсолютную величину коррекции. Например, расчетная длина рефлектора диаметром 20 мм при частоте 50 МГц равна 3060 мм. Диаметр траверсы $b=80$ мм, $t=140$ мм, крепление типа 3 или типа 1 с зазором $s=20$ мм. Расчет по программе boom дает поправку $l=32,74$ мм ($\delta=1,15\%$) для крепления типа 3, $l=8,44$ мм ($\delta=0,3\%$) — для типа 1. Следовательно, в первом случае рефлектор нужно удлинить на 1,15 % его расчетной длины, т. е. на $3060 \cdot 0,0115 = 35,2$ мм, а во втором — на 0,3 % расчетной длины, т. е. на $3060 \cdot 0,003 = 9,18$ мм.

Эта методика с погрешностью по фазовому сдвигу до $\pm 3^\circ$ применима для вибраторов, отличающихся по длине от резонансных на $\pm 10\%$ и меньше. Влияние траверсы без коррекции может привести в этом случае к отклонению фазы на угол до $\pm 15^\circ$.

Влияние других вибраторов также нетрудно учесть с помощью простых средств моделирования проволочных антенн, например, MININEC и т. п.

Пригодность этой методики была проверена на практике, в частности, при разработке стационарных 11-элементных антенн «волновой канал» диапазона 820...875 МГц для удаленных абонентов сотовой связи. Расчетные длины всех элементов ($d=5,6$ мм) были увеличены на 2,3 % для установки на алюминиевой

траверсе диаметром 15 мм по способу 2 при длине выступающих концов траверсы не менее 60 мм. Однако если элемент (рефлектор или последний директор) установлен на расстоянии 10 мм от конца траверсы, его длина должна быть увеличена только на 1,5 %.

Надеемся, что полученные результаты могут быть полезны радиолюбителям, а также разработчикам и конструкторам вибраторных антенн для телевидения, радиосвязи и других приложений. Вопросы, отзывы, предложения, замечания, критику с благодарностью примем по адресу: ua3tz@unc.sci-nnov.ru.

Авторы признательны В. В. Крылову и И. П. Ковалеву за ценные советы и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпиндлер Э. Практические конструкции антенн. Пер. с нем. — М.: Мир, 1989.
2. Беньковский З., Липинский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. Пер. с польск. — М.: Радио и связь, 1983.
3. The Radio Amateur's Handbook. — ARRL, 1973.
4. Ротхаммель К. Антенны. Пер. с нем. — М.: Энергия, 1979.
5. Rambousek A. Amaterska technika velmi kratkach vln. — Praha: Nase vojsko, 1961.
6. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. Том 2. Пер с нем. — Мн.: ОМО "Наш город", 2001.
7. Hoch G. Wirkungswelle und optimaie Dimensionierung von Yagi-Antennen. — UKW-Berichte, 1/1977, s.27—36.
8. Hoch G. Mehr Gewinn mit Yagi-Antennen. — UKW-Berichte, 1/1978, s. 2—9.
9. Kolundzija B.M. e. a. WIPL: A Program for Electromagnetic Modeling of Composite Wire and Plate Structures. — IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.38, No.1, February 1996.
10. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. — С.-Пб. Питер, 1997.