Хармуш Али Хуссейн. Разработка и исследование компактных быстроразворачиваемых широкодиапазонных антенн ультракоротковолнового и коротковолнового диапазонов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.07.- Москва, 2001.- 134 с.: ил. РГБ ОД, 61 02-5/345-3

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКЕ**

**МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ**

На правах рукописи

***ХАРМУШ АЛИ ХУССЕЙН***

УДК 621.396.67

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАКТНЫХ БЫСТРОРАЗВОРАЧИВАЕМЫХ ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ АНТЕНН УЛЬТРАКОРОТКОВОЛНОВОГО И КОРОТКОВОЛНОВОГО**

**ДИАПАЗОНОВ**

**Специальность 05.12.07 *-Антенны, СВЧ-устройства и их технологии***

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: канд. ф.-м. наук, доцент ***Белянский В. Б.***

**Москва 2001г**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ 1< БЫСТРОРАЗВОРАЧИВАЕМЫМ АНТЕННАМ КВ И УКВ ДИАПАЗОНОВ ДЛЯ СЛУЖБ МОНИТОРИНГА РАДИОСПЕКТРА И МЧС И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ 11

1. Постановка задачи 11
2. Система мониторинга радиоспектра КВ и УКВ диапазонов II

‘1.2.1. Описание Международной Мониторинговой Системы 11

1. Роль координации Бюро радиосвязи МСЭ 13
2. Международные мониторинговые программы 14
3. Антенны служб мониторинга радиоспектра, рекомендованные МСЭ ....16
4. [Общие соображения 16](#bookmark0)
5. Антенны для частот шоке 30 МГц 17
6. Особенности измерения напряженности поля и уровня помех в

КВ диапазоне 24

1. [Антенны МЧС КВ и УКВ диапазонов 25](#bookmark1)
2. [Современное состояние техники разворачиваемых антенн 27](#bookmark3)
3. [Типы антенн, подлежащие разработке 30](#bookmark4)
   1. [Выводы 33](#bookmark5)

ГЛАВА 2. ВЫБОР МЕТОДА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВА­НИЯ СТРУКТУР, ОБЛАДАЮЩИХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ШИРОКОПОЛО- СНОСТЫО 34

1. Антенны, являющиеся потенциально широкополосными. Критерии Чу-Харрингтона 34
2. Выбор типа исследуемых антенн 41
3. Постановка задачи электродинамического исследования антенн 44
4. [Анализ состояния вопроса 46](#bookmark11)
5. Выбор метода анализа исследуемых антенн 51
6. Программная среда программы расчета исследуемых антенн 54

[2.4. Выводы 59](#bookmark12)

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОСКИХ И ОБЪЕМНЫХ ПЕТЛЕВЫХ ВИБРАТОРОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ 61

* 1. Общие соображения 61
  2. [Резонансные частоты плоской вибраторной антенны 62](#bookmark13)
  3. Выбор оптимальной формы (угла раствора) плоских петлевых виб­раторов по критерию широкополосное™ 63
  4. Распределение тока и диаграмма направленности плоской треуго­льной антенны 64
  5. Применение сосредоточенных нагрузок с целью оптимизации пара­метров плоских петлевых антенн 68
  6. Результаты исследования объемных петлевых вибраторов и оптимиза­ция их параметров 80
     1. Геометрия объемной петлевой антенны и ее особенности 80
     2. [Оптимальная форма объемного петлевого вибратора по критерию широкополосности 81](#bookmark17)
     3. Резонансные частоты объемного петлевого вибратора 82
     4. Распределение тока и диаграмма направленности объемной тре­угольной антенны 83
     5. Применение сосредоточенных нагрузок с целью оптимизации па­раметров объемных петлевых вибраторов 85
  7. Переход от петлевого вибратора треугольной формы к типовому пет­левому вибратору (вибратору Пистолькорса) 93
  8. Выводы 95

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БЫСТРОРА- ЗВОРАЧИВАЕМЫХ ВИБРАТОРОВ КВ ДИАПАЗОНА 97

1. Несимметричный вибратор с утолщением вблизи точки возбуждения...97
2. Эквивалентная схема несимметричного вибратора с утолщением вблизи точки возбуждения 103
3. Разворачиваемый вибратор Пистолькорса с регулируемой величиной входного сопротивления 106
4. [Выводы 110](#bookmark25)

ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 112

1. Методика измерении 112
2. Измерения входного сопротивления вибраторов с переменным диаме­тром плеча 115
3. Измерения параметров петлевых вибраторов 119

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 124

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 126

ПРИЛОЖЕНИЕ 133

C:\Users\Pavel\AppData\Local\Temp\Rar$DIa0.635\media\image1.jpeg

Настоящая работа выполнена в соответствии с планом развития и технического оснащения системы Министерства по Чрезвычайным Ситуа­циям (МЧС) и Служб Мониторинга радиоспектра (МР/С) республики Ливан и, более конкретно, в соответствии с заданием по выбору направлений разрабо­тки и разработке быстроразворачиваемых антенн подвижной связи УКВ и КВ диапазонов в интересах указанных служб.

Первая глава диссертации посвещена анализу специфических требова­ний, предъявляемых к быстроразворачиваемым антеннам служб МЧС и МР/С, современному состоянию теории и техники указанных антенн и выбору направлений дальнейших разработок.

В УКВ диапазоне наиболее компактными и, следовательно, приемле­мыми для подвижной радиосвязи, работающей в широком диапазоне частот, являются антенны с полубезграничной полосой частот, разработанные в Советском Союзе. Однако, в диапазоне частот ~30 МГц такие антенны становятся достаточно громоздкими и конструктивно неудобными при установке их на автомашине. С другой стороны, объемные антенны такого типа являются практически предельно малогабаритными по критерию Чу - Харрингтона, поэтому дальнейшее уменьшение габаритов возможно для плоских антенн и при уменьшении рабочего диапазона частот объемных антенн. Кроме того, при сохранении радиуса воображаемой сферы *а0,* окружающей антенну, возможно дальнейшее уменьшение ее высоты и возможен такой выбор конфигурации, который удобен для варианта быстроразворачиваемой системы. В частности, разворачиваемые антенны могут быть выполнены в конфигурации, удобной для использования выдвижных упруго трансформируемых элементов (ВУТЭ), разработанных в **Советском Союзе, что** позволяет создать антенную систему, которая может быть переведена из транспортного состояния в рабочее за весьма малое время.

В главе 1 показано, что с учетом геофизических особенностей **Ливана** наиболее приемлемым типом КВ связи является зоновая КВ связь с антеннами зенитного излучения. Разработанные в России подвижные радиостанции зоновой связи являются вполне современными и могут быть использованы в условиях **Ливана.** Однако для организации оперативных магистральных линий КВ радиосвязи с миссиями Ливана требуется разработка КВ антенных решеток, которые с учетом специфики служб МЧС и с учетом технико­экономических факторов, предпочтительно должны быть разработаны в варианте быстроразворачиваемых систем. Отмечается, что решетки такого типа могут быть реализованы на основе использования в качестве элементов решеток быстроразворачиваемых несимметричных вибраторов. Из анализа состояния техники быстроразворачиваемых вибраторов КВ диапазона следует, что наиболее перспективными являются вибраторы с использованием выдвижных упруго трансформируемых элеменгов (ВУТЭ), разработанных в Советском Союзе. С электродинамической точки зрения характеристики таких вибраторов должны быть уточнены с учетом влияния на эти характеристики устройства разворачивания, что приводит к необходимости анализа вибра­торов с переменным диаметром плеча.

Показано, что использование быстроразворачиваемых вибраторов КВ диапазона целесообразно и в службах МР/С при анализе помеховой обстано­вки и измерениях напряженности поля КВ диапазона .

На основе выполненного анализа делается вывод о целесообразности разработки

1. В УКВ диапазоне - петлевых широкодиапазонных вибраторов, конфи­гурация которых удобна для реализации на основе ВУТЭ.
2. В КВ диапазоне - вибраторной антенны с переменным диаметром плеча, которая также может быть реализована на основе упруго-трансформи- руемых элементов (ВУТЭ).

Вторая глава посвящена выбору метода электродинамического иссле­дования структур, обладающих потенциальной широкополосностыо и уточне­нию принципиальных параметров таких структур. Так как исследованию подлежат, в основном, структуры, параметры которых должны достигать теоретически предельных значений, определяемых ограничениями принципиа­льного характера, электродинамический метод расчета должен быть также принципиально строгим с тем, чтобы предпосылки эвристического типа могли быть оценены без маскирующего фона возможных неточностей расчета.

Показано, что с указанной точки зрения наиболее целесообразно испо­льзование программного комплекса (EDEM-3D), разработанного А.Г. Давыдовым и Ю.В.Пименовым. На основе указанного комплекса скомпано- ваны специализированные программы (“MULTILOOP” и “VIBKNOBE”) для расчета параметров петлевых структур и вибраторов с переменным диаметром плеча.

C:\Users\Pavel\AppData\Local\Temp\Rar$DIa0.635\media\image2.jpeg

Во второй главе уточняется обобщенный критерий широкополосное™ Чу-Харрингтона. Показано, что в рамках принятой математической модели, предельный радиус сферы *а0,* окружающей антенну определяется соотноше­нием

(в.1)

где *х* = /.//, -диалазонность антенны (/,, /„ - соответственно верхняя и нижняя частота рабочего диапазона), *Рт* - предельно допустимое значение коэффициента отражения в рабочем диапазоне частот и *R2-* функция, близкая к единице. Для точного определения *а0* приводится функциональное соотно­шение для *R2,* график зависимости *Я2* от *х* н аппроксимирующие соотношения.

Из соотношения (в.1) следует, что значение *а0* практически слабо зависит от *х* > если величина *\Рт\* может быть достаточно большой. Однако при жестких

требованиях к коэффициенту отражения (^„[«l), уменьшение величины *а0* возможно только при резком снижении диапазонное™ работы антенны *х* • Для оценки степени малогабаритности антенны вводится параметр качества *р,* под которым понимается отношение радиуса сферы *а0,* описывающей идеальную антенну к радиусу сферы, описывающую реальную антенну:

*Р = а01 а.*

На основе рекомендаций Чу по реализации антенны с высоким параметром *р,* формулируется принцип, положенный в основу разработки малогабаритных антенн: излучатели в форме петлевых структур с током, поле излучения которых содержит продольную составляющую вектора *Е*, являются потенциально малогабаритными по критерию Чу-Харрингтона. С учётом этого принципа предложены петлевые вибраторные антенны, с петлями треугольной формы, характеристики которых определяются в 3-ей главе диссертации.

В этой главе на основе программы «EDEM-3D» исследуются плоские и объемные петлевые вибраторы и оптимизируются их параметры. Предложе­нные антенны образованы дискретным поворотом петлевых структур треуго­льной формы. При соответствующем выборе геометрических параметров предложенные структуры могут быть трансформированы в типовые антенны Пистолькорса. Показано, что антенны Пистолькорса не являются оптимальны­ми по критерию качества *р*. Определена оптимальная форма петлевых антенн. Показано, что высота структур, близких к оптимальным, приблизительно равна величине \* О*ЛЛН,* что соответствует высоте оптимальных конических вибраторов с шунтами, исследованных Г.С. Омаровым. Резонансные длины волн *Хр* петлевых структур в первом приближении кратны половине

периметра петель структуры, причем первая резонансная частота объемной структуры может быть вырожденной. Показано также, что конденсатор, включенный в центральный проводник петлевых структур, может быть использован как трансформатор сопротивлений, позволяющий изменять величину активной составляющей входного сопротивления антенны от деся­тков Ом до сотен Ом. Кроме того, при соответствующем подборе величины и точки включения этого конденсатора можно получить почти неизменную по частоте величину активной составляющей входного сопротивления в широком диапазоне частот (с коэффициентом перекрытия *х-*1-44-і.8), что удобно при согласовании антенны одним перестраиваемым реактивным элементом при высоких требованиях к КСВ ( КСВ < **1.2-г 1.3).** Параметры оптимизированного варианта плоского петлевого вибратора существенно превышают параметры, повидимому, наиболее удачной плоской широкодиапазонной антенны, известной по литературным данным - антенны, разработанной на основе самодополнительной структуры. Параметры этих антенн сведены в табл.1.

**Таблица I**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Высота  *МК* in | Радиус описывающей сферы а/*Ятіп* | Параметр качества /? |
| Плоская  самодополнительная  структура | о.ш„ | 0.18Я„ | 0.54 |
| Плоская вибраторная петлевая антенна | 0.U, | 0.144 | 0.54 |

Оптимизированные объемные петлевые вибраторы, несколько уступая коническим вибраторам по параметру */3 (/3 =* 0.54-0.54 для петлевых

вибраторов и /7 = 0.64-0.85 для конических вибраторов с шунтами), более предпочтительны с учетом других параметров. Они могут быть выполнены на основе ВУТЭ, что может дать существенный выигрыш по массе антенны и времени ее разворачивания. Поперечный размер петлевого вибратора на 20% меньше поперечного размера конической антенны при равенстве высот, что существенно с учетом ограниченности площади установки антенн на транспо­ртном средстве.

**В** четвертой главе диссертации рассматриваются параметры вибраторных антенн КВ диапазона. С помощью программы «EDEM-3D»

исследуются особенности частотной зависимости входного сопротивления вибратора с переменным диаметром плеча. Выбранная для анализа форма вибратора в широких пределах может имитировать структуру быстро- разворачиваемого вибратора на основе ВУТЭ, механизм разворачивания которого располагается в основании антенны. Показано, что с точностью, достаточной для инженерных расчетов, входное сопротивление рассма­триваемого вибратора равно входному сопротивлению эквивалентного вибратора с плечами цилиндрической формы, входные клеммы которого зашунтированы емкостью, величина которой определяется емкостью образующей конического перехода от входных клемм к цилиндрическому участку плеча и области излома границы конус-цилиндр. С точностью до 1+2% величина указанной емкости *С»* равна *C^^2QA(D22! l\m),* где *D, -* диаметр цилиндра механизма разворачивания и /,, - расстояние от входной клеммы до цилиндрического участка антенны с диаметром *D2.* В четвертой главе приводятся также параметры вибраторной антенны с регулируемой величиной входного сопротивления, предложенной автором совместно с В.И. Куркиным и В.Б. Белянским. Структура антенны позволяет реализовать ее на основе упруго трансформируемых лент U-образной формы.

В пятой главе диссертации приводятся методики и результаты экспериме­нтального исследования антенн предложенных типов. Измерения выполнены на моделях антенн в масштабе -1:10 для петлевых антенн и 1:30 для несимметричной вибраторной антенны. Результаты измерений близко соотве­тствуют полученным расчетным данным. Научные положения выносимые на защиту приводятся в главе «ЗАКЛЮЧЕНИЕ».

Диссертация состоит из введения, заключения и риложения, и содержит 133 страниц машинописного текста, 105 рисунков и 9 таблиц. Список литературы включает 69 наименований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложены и исследованы на основе строгого электродинамического расчета и экспериментально новые типы антенн, удобные для реализации в качестве быстроразворачиваемых антенн подви­жной связи УКВ и КВ диапазонов для МЧС и служб мониторинга радиоспектра Ливана. Основными результатами работы является следующее:

1. Предложен и исследован новый тип антенн, являющихся потенциально широкополосными по критерию Чу-Харрингтона - плоские и объемные петлевые вибраторы с петлями треугольной формы. Геометрия таких антенн удобна для реализации быстроразворачиваемых антенн на основе ВУТЭ.
2. Показано, что по обобщенному критерию Чу-Харрингтона (параметру качества/?) плоские петлевые вибраторы треугольной формы превосхо­дят плоские антенны, разработанные на основе принципа самодопо- лнительности, а объемные петлевые вибраторы приближаются к лучшим образцам конических вибраторов с шунтами, но обладают рядом других улучшенных параметров - меньшей массой, меньшим поперечным габаритом, возможностью гибкого выбора диапазонности и уровня КСВ.
3. Получено соотношение в замкнутой форме для параметра качества *р,* как обобщенного критерия Чу-Харрингтона.
4. Показано, что резонансные частоты петлевых вибраторов определяются в первом приближении половиной периметра петли.
5. Показано, что конденсатор, включенный в центральный провод петлевых вибраторов треугольной формы, может быть использован в качестве трансформатора сопротивления, позволяющего изменять активную составляющую входного сопротивления антенны от десятков Ом до сотен Ом.
6. Определена оптимальная форма петлевых вибраторов по критерию качества.
7. Показано, что при соответствующем выборе формы петлевых вибра­торов, места включения сосредоточенной емкости в центральный прово­дник антенны и величины этой емкости возможно согласование с низким уровнем КСВ ( КСВ < **1.2** +1.3) в широком диапазоне частот *(%* >1.3-4.**6**) при помощи одного перестраиваемого реактивного элемента.
8. На основе строгого электродинамического расчета уточнены параметры типовых антенн Пистолькорса. Показано, что по критерию широко­полосное™ оптимальный угол раствора проводов плеч вибраторов Пистолькорса должен быть равен 20°+30°.
9. Предложен вариант вибратора Пистолькорса с регулируемым уровнем входного сопротивления. Геометрическая структура антенны удобна для реализации ее в качестве быстроразворачиваемой антенны КВ диапазона на основе выдвижных упруго трансформируемых профилей в виде лент U-образной формы.

Ю.Выполнено исследование вибраторной антенны с переменным диаметром плеча. Выбранная форма плеча имитирует в широком диапазоне геометрических параметров быстроразворачиваемую вибраторную анте­нну КВ диапазона на основе ВУТЭ, механизм разворачивания которой расположен у основания антенны.

1. Показано, что по входному сопротивлению вибратор с переменным диаметром плеча эквивалентен вибратору с плечами цилиндрической формы, вход которого зашунтирован емкостью, величина которой легко определяется по геометрическим параметрам антенны. С точностью, достаточной для инженерных расчетов определены в виде простых расче­тных соотношений параметры эквивалентной вибраторной антенны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внедрение КВ антенн в Службах МЧС Ливана : Письмо Посольства Ливана.- № о-166/2001.
2. Spectrum Monitoring Hangbook. - International Telecominication Union (ITU). -1995.
3. Серков В.П. Распространение радиоволн и антенные устройства. - Л., 1981.
4. Простов С.П. Системы декаметровой радиосвязи в чрезвычайных

ситуациях . // Вестник связи . - 1999. - № 11. - С. 62 - 64.

1. Простов С.П. Оценка эффективности применения вынесенного

ретрансляционного пункта в зоновой системе декаметровой радиосвязи по материальным потерям / МТУСИ . - М., 1997. - С. 48 -56 . Деп. в ЦНТИ «Информсвязь». - № 2103 св.97.

1. Простов С.П. Методы оценки эффективности систем декаметровой

радиосвязи / МТУСИ . - М., 1998. - С. 50 - 56. Деп. в ЦНТИ «Информсвязь». - № 2125 св.98.

1. Простов С.П., Богданов А.В. Методы повышения эффективности

зоновой системы ДКМ радиосвязи в условиях чрезвычайных ситуации. // Электросвязь. - 1999. - № 11 - С. 14-17.

1. Головин О.В., Богданов А.В., Простов С.П. Эффективность

радиосвязи в декаметровом диапазоне в условиях чрезвычайных ситуаций.// Вестник связи. - 1998. - № 7. - С.47 -51.

1. Головин О.В., Шварц В., Простов C.IT., Богданов А.В. Комплексная

оценка эффективности систем связи. // Радиотехника. - 1999. - №7. - С. 3-6.

1. Головин О.В., Шварц В., Простов С.П., Богданов А.В. Аналитические методы оценки эффективности систем связи. // Радиотехника . - 1999. - № 12.-С. 10-16.
2. Левин Б.М. Вибраторные антенны для судовой радиосвязи. - СПб., 1998.
3. Куркин В.И., Белянский В.Б., Хармуш А.Х. Разворачиваемые петлевые вибраторные антенны. : Докл. // МТУ СИ. Науч.-техн. конф., М., 1999.
4. Куркин В.И., Белянский В.Б., Хармуш А.Х. Быстроразворачиваемые антенны коротковолнового диапазона. // МТУСИ. М., 1999. - Деп. в ЦНТИ «Информсвязь». - № 2144, св 99.
5. Куркин В.И., Полинов Ю.С. Использование выдвижных упругих трансформируемых элементов в антенной технике. : Докл. // МТУСИ. Семенар - совещание заведующих кафедрами ТЭД и А, устройств СВЧ и распространение радиоволн., М. 2000.
6. Саморазматывающиеся и раздвижные антенны. : патент США № 3467328
7. Конструкция выдвижного механизма. : Патент США № 3144215
8. Конструкция выдвижного механизма ВУТЭ (ролики для уменьшения внутреннего трения). : патент США № 4225871.