

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 1621.317.328: 681.586

С. В. БИРЮКОВ

Омский государственный
технический университет

ПРОВОДЯЩАЯ СФЕРА, НАХОДЯЩАЯСЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ЗАРЯЖЕННОГО ПРОВОДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Разработки средств измерения напряженности электрического поля и эталонных измерительных установок для их поверки весьма актуальны, т. к. связаны с обеспечением безопасных условий работы и жизнедеятельности человека. Целью работы является создание малогабаритной эталонной установки по заданию вращающегося электрического поля, представляющей собой «беличью» клетку, прутья которой являются полезадающими электродами, находящимися под трехфазным напряжением. Задачей данной работы является исследование взаимодействия проводящей сферы в электрическом поле заряженного проводящего электрода цилиндрической формы конечной длины.

Ключевые слова: электрическое поле с круговой (эллиптической) поляризацией, проводящая сфера, датчик напряженности электрического поля, заряженные электроды, источник поля.

Создание приборов для измерения напряженности электрических полей трехфазных источников [1] с трехкоординатными датчиками сферической формы, выполненными из проводящего материала, повлекло за собой разработку новых малогабаритных эталонных измерительных установок, генери-

рующих электрические поля с эллиптической поляризацией и заданными метрологическими параметрами [2, 3].

Наиболее простой конструкцией такой установки является система цилиндрических электродов, равномерно расположенных по окружности, радиус кото-

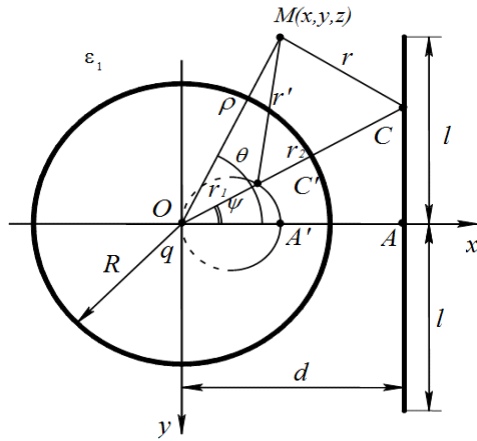


Рис. 1. Проводящая сфера в электрическом поле заряженного проводящего электрода цилиндрической формы

рой много больше радиуса датчика сферической формы. Таким образом, цилиндрические электроды являются образующими цилиндра, в объёме которого создаётся вращающееся (поляризованное по окружности или эллипсу) электрическое поле. Число таких электродов должно быть четное и кратно трем, по числу фаз напряжений переменного тока, подаваемых на них.

При определении метрологических характеристик сферических проводящих датчиков напряженности электрического поля в таких установках возникает необходимость в определении распределения напряженности электрического поля на проводящей поверхности сферы сначала от одного заряженного цилиндрического электрода, а затем от n таких электродов. Цилиндрические электроды, являющиеся источниками электрического поля, будем рассматривать как проводящую тонкую линию конечной длины.

Поведение проводящей сферы в поле тонкой бесконечной проводящей и заряженной линии рассмотрено в работе [4]. В данной работе для получения более общих результатов производится расчет аналогичной линии, но конечной длины.

Пусть проводящая сфера радиуса R , имеющая потенциал $U_{сф}$, находится в поле проводящего линейного заряда постоянной плотности τ длиной $2l$ (рис. 1). Используя метод изображения в сфере [5], выведем выражение для расчета нормальной составляющей напряженности ЭП на поверхности проводящей сферы.

Согласно этому методу, система зарядов, определяющих поле линейного заряда постоянной плотности τ и длины $2l$, будет состоять из линейного заряда постоянной плотности τ и длины $2l$, отображения этого заряда в сфере и заряда q , помещённого в центр сферы (рис. 1).

Суммарная система зарядов — заданной линии и отраженной в сфере кривой — даст на шаре потенциал, равный нулю, а заряд q создаст на сфере потенциал $U_{сф} = \frac{q}{4\pi\epsilon_1 R}$, где ϵ_1 — диэлектрическая проницаемость среды, окружающей сферу. Полный суммарный заряд сферы не будет равен нулю, поэтому сфера будет являться источником собственного поля.

Положим, что линия находится на расстоянии d от центра сферы и расположена в плоскости $z=0$. Отобразим каждый элементарный заряд нити

$dq = \tau \cdot dl$ в сфере. Потенциал произвольной точки M , находящейся на расстоянии r от центра сферы (рис. 1), равен

$$U_M = U_1 + U_2 + U_3, \quad (1)$$

где U_1 — потенциал отображения линейного заряда, U_2 — потенциал линейного заряда, U_3 — потенциал заряда q .

Найдём выражения для U_1 , U_2 , U_3 . Согласно [4], отображая нить в сфере, получим дугу окружности радиуса $\frac{R^2}{2d}$, проходящую через центр сферы с углом раствора относительно центра шара, равным $2\arctg\left(\frac{l}{d}\right)$. Действительно, отображая точку A в окружности, находящейся в плоскости $z=0$ (рис. 1), получим точку A' такую, что:

$$OA' = \frac{R^2}{OA} = \frac{R^2}{d}.$$

Радиус-вектор любой отображённой точки C' равен:

$$r_1 = \frac{R^2 \cos \psi}{d}, \quad (2)$$

а это есть уравнение окружности диаметра $\frac{R^2}{d}$, проходящей через начало координат.

Элементарный физический заряд, расположенный на элементе dl между углами ψ и $\psi+d\psi$, равен [5]:

$$dq = \frac{\tau d}{\cos^2 \psi} d\psi. \quad (3)$$

Соответствующий ему отображённый заряд равен

$$dq' = -\frac{R \cos \psi}{d} dq. \quad (4)$$

С учетом формулы (3) выражение для отображённого заряда (4) можно записать как

$$dq' = -\frac{\tau R}{\cos \psi} d\psi. \quad (5)$$

Найдём потенциал в точке M , обусловленный заряженной дугой окружности с переменной плотностью τ' . Он будет равен:

$$U_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_1} \int \frac{dq'}{r'}, \quad (6)$$

где расстояние r' от точки M до отображённой точки C' можно определить по теореме косинусов [6]:

$$r' = \sqrt{\rho^2 + r_1^2 - 2\rho \cdot r_1 \cdot \cos(\theta - \psi)}.$$

Подставляя в это уравнение выражение (2) получим:

$$r' = \sqrt{\rho^2 + \frac{R^4}{d^2} \cos^2 \psi - 2\rho \frac{R^2}{d} \cos \psi \cdot \cos(\theta - \psi)}. \quad (7)$$

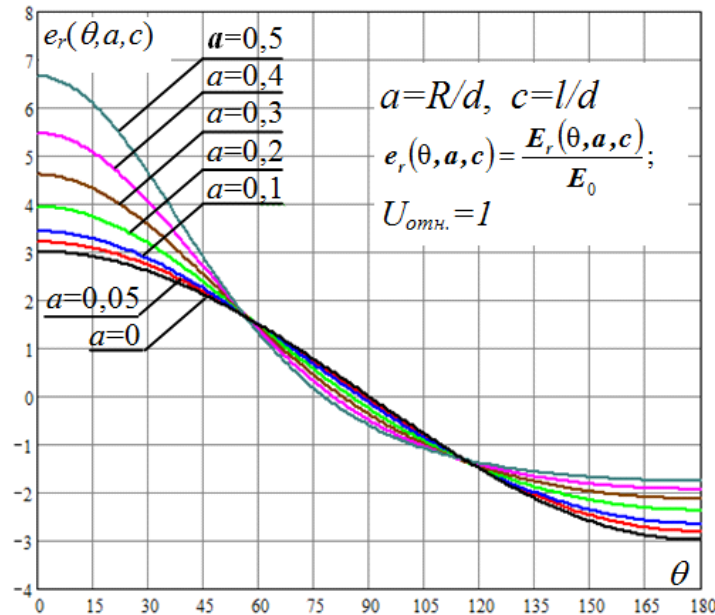


Рис. 2. Графики зависимости нормальной составляющей напряженности ЭП на поверхности изолированного шара в поле заряженного проводящего электрода цилиндрической формы для различных значений a при постоянном значении параметра $c=1$

С учетом уравнений (5) – (7) выражение для нахождения потенциала, создаваемого отображенными зарядами в точке M , примет вид:

$$U_1 = -\frac{\tau R}{4\pi\epsilon_1} \times \int_{-\arctg(\frac{l}{d})}^{\arctg(\frac{l}{d})} \frac{d\psi}{\cos\psi \sqrt{\rho^2 + \frac{R^4}{d^2} \cos^2 \psi - 2\rho \frac{R^2}{d} \cos\psi \cdot \cos(\theta - \psi)}}. \quad (8)$$

Аналогично найдётся вторая составляющая потенциала в точке M — потенциал U_2 , обусловленный линейным зарядом постоянной плотности τ :

$$U_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_1} \int \frac{dq}{r}, \quad (9)$$

где [6]:

$$r = \sqrt{\rho^2 + r_2^2 - 2\rho \cdot r_2 \cdot \cos(\theta - \psi)};$$

$$r_2 = \frac{d}{\cos \psi}.$$

С учетом этих выражений получим:

$$r = \sqrt{\rho^2 + \frac{d^2}{\cos^2 \psi} - 2\rho \frac{d}{\cos \psi} \cos(\theta - \psi)}. \quad (10)$$

С использованием уравнений (3), (9), (10) получим выражение для нахождения потенциала, создаваемого линейным зарядом в точке пространства M :

$$U_2 = \frac{\tau d}{4\pi\epsilon_1} \times$$

$$\int_{-\arctg(\frac{l}{d})}^{\arctg(\frac{l}{d})} \frac{d\psi}{\cos^2 \psi \sqrt{\rho^2 + \frac{d^2}{\cos^2 \psi} - 2\rho \frac{d}{\cos \psi} \cos(\theta - \psi)}}. \quad (11)$$

Интегралы в выражениях (8) и (11) аналитически не вычисляются, но при использовании математических программ (в данном случае использовался MATHCAD 13) их можно просчитать численно.

Для проверки полученных выражений найдём суммарный потенциал на сфере. Для этого подставим в выражения (8) и (11) $\rho = R$ и посчитаем $U' = U_1 + U_2$ при значении угла θ от 0 до 360°, предварительно задавшись значениями d, l, τ, ϵ_1 .

В ходе расчётов получено, что суммарный потенциал сферы от линейного заряда и его отображения в сфере равен нулю. Следовательно, выражения (8) и (11) найдены правильно.

Потенциал, создаваемый зарядом q в точке M , равен

$$U_3 = U_{сф} \frac{R}{\rho}. \quad (12)$$

Используя выражения (8), (11) и (12) можно найти потенциал любой точки M пространства по формуле:

$$U_M = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_1} \int_{-\arctg(\frac{l}{d})}^{\arctg(\frac{l}{d})} \left(\frac{1}{\cos \psi \sqrt{\rho^2 + \frac{R^4}{d^2} \cos^2 \psi}} - \frac{R}{-2\rho \frac{R^2}{d} \cos \psi \cdot \cos(\theta - \psi)} + \frac{d}{\cos^2 \psi \sqrt{\rho^2 + \frac{d^2}{\cos^2 \psi} - 2\rho \frac{d}{\cos \psi} \cos(\theta - \psi)}} \right) d\psi + U_{сф} \cdot \frac{R}{\rho}. \quad (13)$$

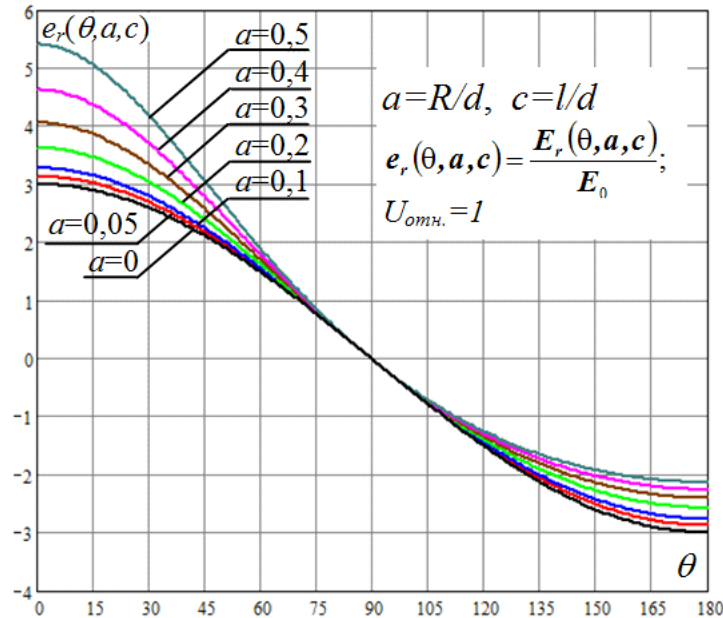


Рис. 3. Графики зависимости нормальной составляющей напряженности ЭП на поверхности изолированного шара в поле заряженного проводящего электрода цилиндрической формы для различных значений a при постоянном значении параметра $c=5$

Таким образом, зная потенциал U_m произвольной точки пространства, окружающего сферу, можно найти распределение нормальной составляющей напряженности ЭП на поверхности проводящей сферы. Для этого продифференцируем выражение (13) по ρ и подставим $\rho=R$:

$$E_r = - \left. \frac{\partial U_m}{\partial \rho} \right|_{\rho=R}. \tag{14}$$

Продифференцировав (13) по ρ и введя обозначения $a = \frac{R}{d}$, $c = \frac{l}{d}$, получим нормальную составляющую напряженности ЭП на поверхности проводящей сферы в поле линейного заряда конечной длины:

$$E_r = - \frac{\tau}{4\pi\epsilon_1 R} \times \int_{-\arctg(c)}^{\arctg(c)} \left[\frac{1 - a^2 \cos^2 \psi}{\cos \psi (1 + a^2 \cos^2 \psi - 2a \cos \psi \cdot \cos(\theta - \psi))^{\frac{3}{2}}} \right] d\psi + \frac{U_{сф}}{R}. \tag{15}$$

Построим графические зависимости распределений напряженности ЭП на поверхности проводящей сферы. Для этого введем следующие нормировки [7]:

$$e_r = - \frac{E_r}{E_0}, \tag{16}$$

$$U_{отн.} = \frac{U_{сф}}{U_0},$$

где E_0 — напряженность ЭП линейного заряда конечной длины в точке, совпадающей с центром сферы; U_0 — потенциал точки исходного ЭП, совпадающей с центром сферы.

Известно [7], что

$$E_0 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_1 d} \cdot \frac{c}{\sqrt{1+c^2}}. \tag{17}$$

Для нахождения потенциала U_0 необходимо подставить в выражение (11) $\rho=0$ и $\theta=0$.

В результате получим:

$$U_0 = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_1} \int_{-\arctg(\frac{l}{d})}^{\arctg(\frac{l}{d})} \frac{d\psi}{\cos \psi}. \tag{18}$$

Тогда с учетом нормировок (16) и выражений (17), (18):

$$e_r(\theta, a, c) = \frac{\sqrt{1+c^2}}{2ac} \left[\int_{-\arctg(c)}^{\arctg(c)} \left[\frac{1 - a^2 \cos^2 \psi}{\cos \psi \cdot (1 + a^2 \cos^2 \psi - 2a \cos \psi \cdot \cos(\theta - \psi))^{\frac{3}{2}}} \rightarrow \right. \right. \\ \left. \left. \rightarrow \frac{U_{отн.}}{\cos(\theta - \psi)^{\frac{3}{2}} \cdot \cos \psi} \right] d\psi \right]. \tag{19}$$

Анализ выражения (19) при $a \rightarrow 0$ показывает, что относительная нормальная составляющая напряженности ЭП на проводящей сфере $e_r(\theta, a, c) \rightarrow 3 \cos \theta$, т.е. распределение напряженности на поверхности сферы при удалении ее от проводящей линии приближается к аналогичному распределению в однородном поле [8, 5].

Полученное выражение (19) будет являться сменным ядром подынтегральной функции при определении средней напряженности ЭП на чувствительных элементах датчика.

Результаты расчетов $e_r(\theta, a, c)$ представлены на рис. 2, 3 в виде семейств графиков распределения нормальной составляющей напряженности ЭП по поверхности изолированной ($U_{отн.}=1$) сферы в зави-

симости от широтного угла θ для различных значений параметров a и c . Параметр a — относительное расстояние от центра сферы до заряженной линии, $a=R/d$. Чем меньше a , тем дальше сфера расположена от линии. Чем меньше параметр $c=l/d$, тем короче заряженная линия по отношению к расстоянию до сферы. Для сравнения на этих же графиках представлена зависимость $e_r(\theta)$ для случая однородного ЭП.

Из рис. 2, 3 видно, что наибольшее возрастание напряженности ЭП наблюдается вблизи полюса шара, ближайшего к проводящей линии, и чем дальше сфера удалена от линии (чем меньше $a=R/d$), тем меньше это возрастание. Кроме этого, необходимо принять во внимание отношение $c=l/d$. Чем больше c , тем ближе к нулю напряженность электрического поля на экваторе сферы. Эти обстоятельства необходимо учитывать при анализе взаимодействия трехкоординатного сферического датчика напряженности с электрическим полем цилиндрического электрода эталонной измерительной установки.

В представленной работе рассматривается только лишь взаимодействие проводящей сферы с электрическим полем одного заряженного цилиндрического электрода эталонной измерительной установки. В последующих исследованиях необходимо будет рассмотреть аналогичное взаимодействие сферы с тремя n -парами цилиндрических электродов, несущих электрические заряды или потенциалы, задаваемые трехфазным источником напряжения.

Библиографический список

1. Deno, D. W. Transmissien Line Fields / D. W. Deno // IEEE Transactions Pas, 1976. — V. 95, № 5. P. 1600—1611.
2. Ермоленко, А. В. Установка для поверки измерителей напряженности электрического поля с эллиптической поляриза-

цией / А. В. Ермоленко, С. В. Бирюков // Актуальные проблемы современной науки : материалы III Регион. молодеж. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. — С. 112—114.

3. Ермоленко, А. В. Устройство для поверки датчиков напряженности электрического поля / А. В. Ермоленко, А. Г. Ададурова, С. В. Бирюков, В. А. Люгаревич // Актуальные проблемы современной науки : материалы IV Регион. молодеж. науч.-практ. конф. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. — С. 76—79.

4. Бирюков, С. В. Расчет электрического поля на поверхности сферического датчика напряженности, находящегося в поле проводящей линии / С. В. Бирюков, Е. В. Тимонина // Динамика систем, механизмов и машин : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. — Кн. 1. — С. 258—262.

5. Методы расчёта электростатических полей / Н. Н. Миролюбов [и др.]. — М. : Высшая школа, 1963. — 415 с.

6. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. — М. : Наука, 1972. — 874с.

7. Бирюков, С. В. Расчет электрического поля на поверхности электроиндукционного сферического датчика напряженности, находящегося вблизи проводящей плоскости / С. В. Бирюков. — Омск : Изд-во ОмПИ, 1984. — 22 с. — Деп. в ВИНТИ 13.09.84, № 6225-84.

8. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники. В 2 т. Т. 2 / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. — Л. : Энергоатомиздат, 1981. — 415 с.

БИРЮКОВ Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры физики.

Адрес для переписки: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, кафедра физики.

Статья поступила в редакцию 18.03.2016 г.

© С. В. Бирюков

Книжная полка

Титов, Д. А. Основы оптимизации в радиотехнических системах : практикум / Д. А. Титов, И. В. Юнкин, Н. В. Рубан. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. — 117 с.

Представлены практические работы, демонстрирующие использование различных методов оптимизации в программном обеспечении радиотехнических устройств и систем. Разработка программного обеспечения практических работ производится в программной среде Matlab. Практикум предназначен для студентов электро- и радиотехнических специальностей очной и заочной форм обучения.

Игнатов, А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника : учеб. пособие для вузов / А. Н. Игнатов. — СПб. : Лань, 2016. — 527 с.

Изложены физические основы полупроводниковых электронных приборов. Рассмотрены основные типы радиокомпонентов, элементы и узлы аналоговых и цифровых микросхемных устройств и систем, интегральные схемы высоких степеней интеграции. Показана целесообразность и возможности перехода от классической электроники к наноэлектронике. Проанализированы физические и технологические основы наноэлектроники, особенности наноэлектронных транзисторов, фотоприемников и лазеров, приборов на основе углеродных нанотрубок. Издание предназначено для бакалавров по направлениям подготовки «Электроника и наноэлектроника» и «Радиотехника». Также может быть полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся проектированием и эксплуатацией электронной аппаратуры с использованием микросхемной и наноэлектронной элементных баз.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СРЕДНЕВОЛНОВОЙ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСТАНЦИИ НА РАДИОТРАССАХ СРЕДНЕЙ ДАЛЬНОСТИ

В статье приводятся результаты натурных испытаний средневолновой (СВ) мобильной радиостанции на радиотрассах средней дальности, до 350 км, показавшие возможность использования СВ радиосвязи с мобильными объектами, находящимися вне зоны действия ультракоротковолновых (УКВ) систем — прямая видимость и в «мертвой» зоне для коротковолновой (КВ) радиосвязи. Используемые при проведении испытаний малогабаритные резонансные антенны позволяют размещать оборудование СВ радиосвязи на мобильных объектах, включая автомобили, морские и речные суда. **Ключевые слова:** радиосвязь, средневолновый диапазон, поверхностное распространение радиоволн, радиотрасса, антенна.

Наибольшую сложность организации радиосвязи с мобильными объектами представляют радиотрассы средней дальности, когда ультракоротковолновая (УКВ) уже, а коротковолновая (КВ) радиосвязь, из-за так называемой «мертвой» зоны, еще не работают (40–400) км (рис. 1) [1, 2].

Для решения этой задачи применяется способ КВ-радиосвязи, использующий почти вертикальное облучение ионосферы, получивший название NVIS (Near Vertical Incidence Skywave propagation) [2–5]. Ключевыми моментами в организации такой радиосвязи являются использование антенн зенитного излучения и соответствующий выбор рабочей частоты.

В качестве антенн зенитного излучения могут использоваться рамочные магнитные антенны с малой апертурой (много меньше длины волны), известные под названием Very Small Tuned Magnetic Loop, такие как ST-940B [3] или Barrett 2018 [4] (рис. 2а). Иногда для этой цели используют наклоненные (изогнутые) штыревые антенны, например Barrett 2019 (рис. 2б).

При применении NVIS радиосвязи радиоволны, отражающиеся от слоя E, расположенного на высоте 90...120 км, поглощаются слоем D, который находится на высоте 50 километров, не имеет максимума плотности по высоте и плавно переходит в слой E, проходя его дважды [3]. Поэтому при выборе частот

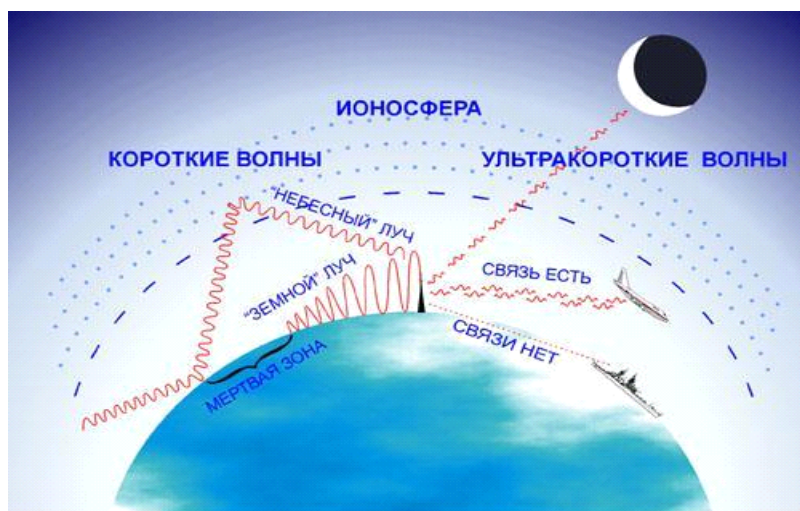
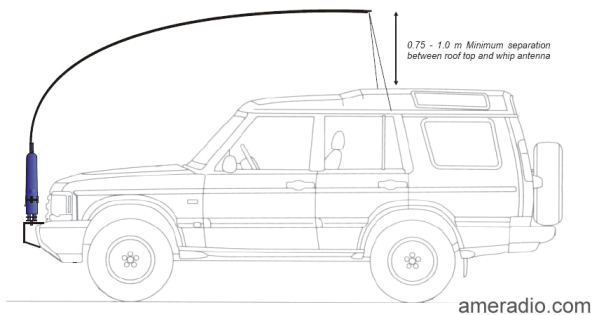


Рис. 1. Распространение КВ и УКВ радиоволн



а



б

Рис. 2. Антенны зенитного излучения, размещенные на автомобиле:
а) магнитная, б) штывевая



Рис. 3. Опытный образец СВ мобильной радиостанции

для NVIS радиосвязи нужно учитывать взаимно противоречивые требования: с увеличением частоты сигнала коэффициент отражения вертикально падающей волны уменьшается, но с понижением частоты увеличивается ее поглощение в ионосфере. Т.е. пригодным для радиосвязи остается довольно узкий участок применимых частот, который к тому же зависит от времени суток, времени года и солнечной активности, определяющей электронную концентрацию. Таким образом, несмотря на сравнительно небольшие дальности при организации NVIS радиосвязи, мы сталкиваемся с теми же проблемами, что и при дальней КВ радиосвязи.

Задача радиосвязи на радиотрассах средней дальности может быть решена за счет использования средневолнового (СВ) диапазона длин волн [6, 7]. В этом диапазоне радиосвязь осуществляется поверхностной волной на расстояниях, значительно превышающих зону прямой видимости за счет явления дифракции и рефракции, что дает возможность обеспечить радиосвязь на расстояния до нескольких сотен километров, покрывая «мертвую» зону для КВ радиосвязи.

При распространении радиоволн вдоль поверхности Земли ее влияние определяется как электрическими параметрами земной коры, так и структурой поверхности Земли — её кривизной и неоднородностью. Т.е. зависит от множества факторов, но

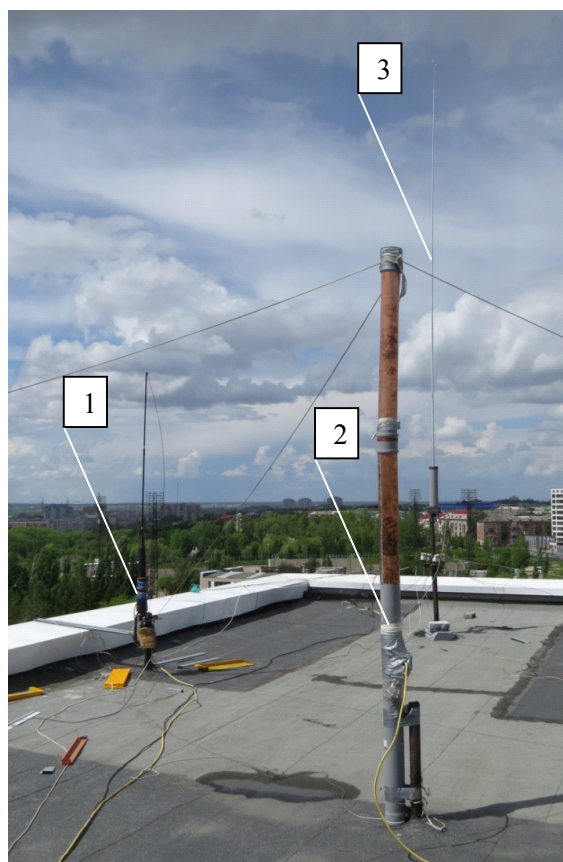


Рис. 4. Вариант размещения укороченных антенн на крыше здания:
1 — антенна Barrett 2019; 2 — макет ЕН антенны;
3 — штывевая антенна с антенно-согласующим устройством индуктивного типа

имеет общую тенденцию — энергия электромагнитной волны поглощается землей тем больше, чем короче длина волны (выше частота) [1, 8, 9]. Кроме того, уменьшение частоты снизит вероятность появления ионосферных каналов связи и связанных с ними межсимвольных искажений и замираний сигналов интерференционного характера. Такой канал радиосвязи в большинстве случаев можно рассматривать как однолучевой с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ). Однако увеличение длины волны ограничено использованием на мобильном объекте антенн с малой действующей высотой, эф-



Рис. 5. Вариант размещения малогабаритных антенн на земле (а) и на автомобиле (б)

фективность которых при фиксированных физических размерах снижается с увеличением длины волны [8, 9].

Для широкого использования СВ радиосвязи, как и в случае с системой NVIS, большую роль играют антенно-фидерные системы. Большие габариты полно-размерных антенно-фидерных устройств этого диапазона не позволяют использовать их на мобильных объектах. При проведении испытаний использовался опытный образец средневолновой мобильной радиостанции «Нозма-СВ» мощностью 8 Вт, внешний усилитель мощности «Нозма СВ-У1» мощностью 100 Вт (рис. 3) и укороченные резонансные антенны, размещенные на крыше здания (рис. 4), на земле и на автомобиле (рис. 5).

В качестве «эталонной» использовалась антенна Barrett 2019 (рис. 4), также при испытаниях исследовались макет ЕН антенны [10, 11] (рис. 4) и штыревая антенна длиной 5,8 м с антенно-согласующим устройством индуктивного типа [12] (рис. 4).

В ходе испытаний все три антенны показали близкие результаты на частоте 2 МГц. Учитывая, что антенна Barrett-2019 работает в диапазоне от 2 до 30 МГц, а ЕН антенна имеет сильную частотную зависимость от конструктивных особенностей самой антенны и внешних факторов, кроме того, ее размещение на мобильном объекте сопряжено с трудностями конструктивного характера, дальнейшие испытания на частоте 500 кГц проводились со штыревой антенной.

Результаты натурных испытаний передачи цифровых данных со скоростью 1200 бит/с, класс излучения — частотная манипуляция с минимальным сдвигом (Fast Frequency Shift Keying — FFSK), показали, что снижение частоты сигнала с 2 МГц до 500 кГц позволяет почти вдвое повысить дальность радиосвязи при одной и той же мощности передатчика. Во время испытаний также проверялась

дальность радиосвязи при передаче цифровых данных со скоростью 1200 бит/с и 100 бит/с, а также сигналов аналоговой телефонии на частоте 500 кГц при мощности передатчика 100 Вт.

Проведенные испытания показали возможность передачи в СВ диапазоне (рис. 6):

- цифровых данных со скоростью 1200 бит/с (класс излучения — частотная манипуляция с минимальным сдвигом — FFSK) на расстояния до 300 км при коэффициенте исправного действия (КИД) радиолинии 84–86 %;

- аналоговой голосовой информации на расстоянии до 300 км с удовлетворительным качеством (класс излучения J3E, на нижней боковой полосе частот, оценка 3 по пятибалльной системе);

- цифровых сообщений (класс излучения F1B, частотный сдвиг 170 Гц, скорость передачи данных 100 бит/с) на расстояния до 350 км при практически 100 % КИД.

Как известно, качество приема сигналов определяется отношением энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума в точке приема. Поэтому при проведении испытаний с помощью анализатора кабелей и антенн ZVH-4 фиксировалась мощность сигнала и шума в полосе 1 кГц (рис. 7).

На рис. 7а и б приведены спектрограммы сигнала передатчика мощностью 8 Вт при удалении от него на 219 и 276 км соответственно. Из приведенных спектрограмм видно, что на дальности 219 км превышение сигнала над шумами составляет около 20 дБ, что достаточно для приема сложных сигналов. Дальнейшее увеличение дальности радиосвязи приводит к резкому снижению мощности сигнала и на дальности 276 км отношение сигнал/шум близко к единице, что не позволяет принимать даже простейшие сигналы с удовлетворительным качеством.

Увеличение мощности передатчика с 8 до 100 Вт позволяет обеспечить необходимое для качествен-

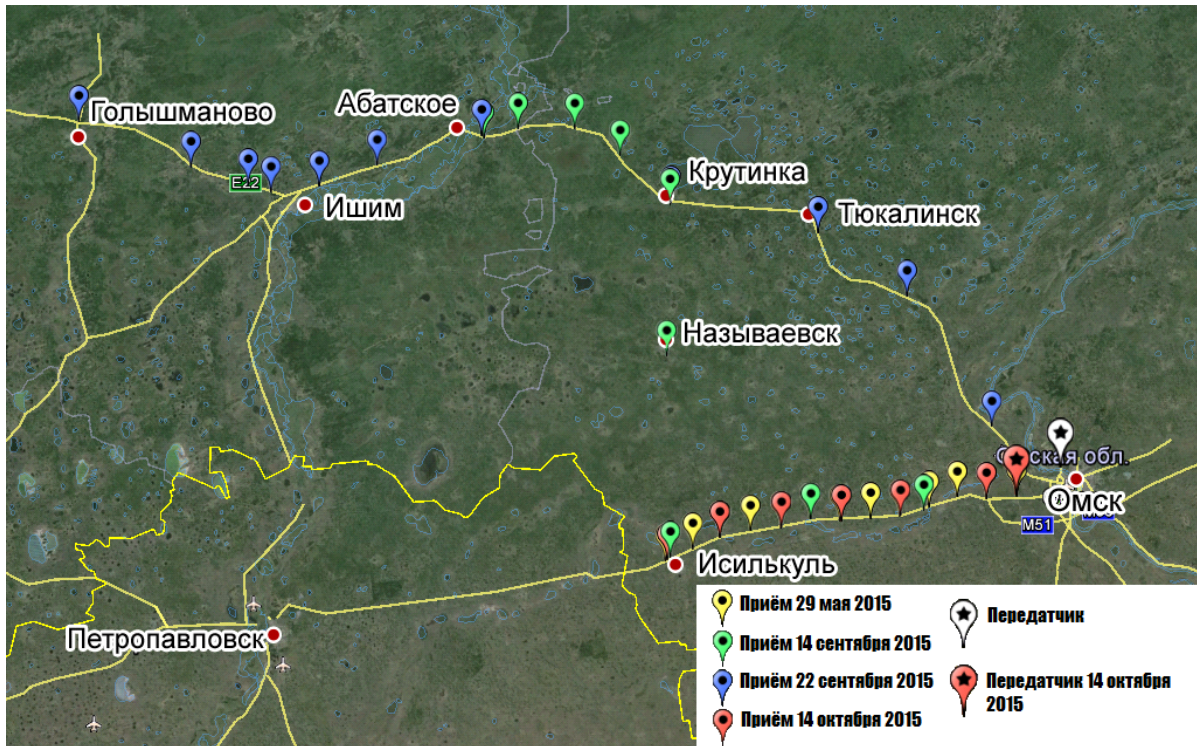


Рис. 6. Результаты испытаний для определения потенциальной дальности передачи сигналов на частоте 500 кГц

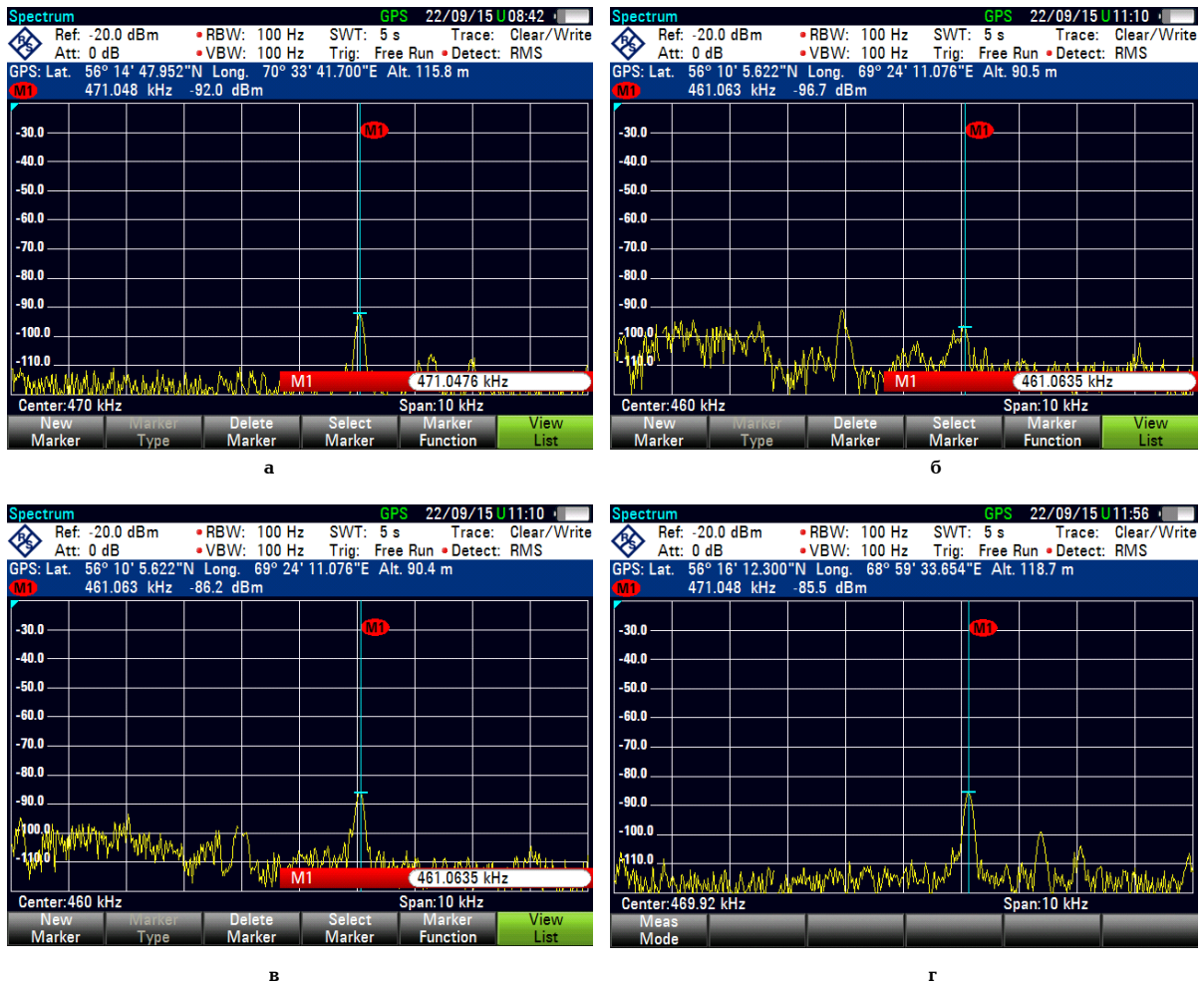


Рис. 7. Спектрограммы сигнала

ного приема превышение мощности сигнала над шумами на дальности 276 (рис. 7в) и 303 (рис. 7г) км.

Выводы. При организации радиосвязи с мобильными объектами наибольшую сложность представляет радиосвязь на средней дальности, когда УКВ радиосвязь уже, а КВ радиосвязь, из-за наличия так называемой «мертвой зоны», еще не работают (40–400) км. Использование для решения этой задачи NVIS радиосвязи с вертикальным облучением ионосферы имеет недостатки, присущие дальней КВ радиосвязи.

Проведенные натурные испытания показали возможность использования СВ диапазона с малой действующей высотой (намного меньше длины волны) при организации радиосвязи с мобильными объектами, такими как автомобили и суда речного и морского флотов, на радиотрассах средней дальности (до 350 км). В частности, при мощности радиопередатчика 100 Вт обеспечивалась передача:

— цифровых данных со скоростью 1200 бит/с и аналоговой голосовой информации с удовлетворительным качеством на расстояния до 300 км;

— цифровых сообщений со скоростью 100 бит/с на расстояния до 350 км.

Библиографический список

1. VIOL Системы радиосвязи. Радиоволны и частоты. — Режим доступа : <http://www.viol.uz/node/57> (дата обращения: 17.03.2016).
2. Радиосвязь малого корабля. Антенны КВ и УКВ. — Режим доступа : <http://kbrs.ucoz.ru/index/antenny/0-8> (дата обращения: 22.03.2016).
3. Automatic tuning mobile HF antenna. — Режим доступа : <http://www.barrettcommunications.com.au> (дата обращения: 26.11.2015).
4. Поляков, В. Т. NVIS техника ближней связи на КВ / В. Т. Поляков // Спецтехника и связь. — 2009. — № 1. — С. 59–63.
5. Березовский, В. А. Современная дециметровая радиосвязь: оборудование, системы и комплексы / В. А. Березовский, И. В. Дулькейт, О. К. Савицкий ; под ред. В. А. Березовского. — М. : Радиотехника, 2011. — 444 с.
6. Дулькейт, И. В. Перспективы использования средневолнового диапазона для информационного обеспечения безопасности мореплавания в акватории Северного морского пути / И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, А. В. Косых // Связь на Русском Севере : тез. докл. конф., Москва, 03–04 сентября 2014 г. — М. : КОННЕКТ, 2014. — С. 11.
7. Дулькейт, И. В. Особенности организации радиосвязи в Арктической зоне Российской Федерации / И. В. Дулькейт,

С. А. Завьялов, И. С. Землянов // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность. — 2015. — № 2. — С. 25–31.

8. Юрьев, А. Н. Теоретическая оценка максимальных размеров зоны обслуживания транкинговой системы связи СВ-КВ диапазонов частот / А. Н. Юрьев // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2011. — № 1 (97). — С. 221–226.

9. Юрьев, А. Н. Методика расчета максимальной дальности связи, обеспечиваемой системой радиосвязи по земной / А. Н. Юрьев // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2011. — № 1 (97). — С. 216–221.

10. Маслов, О. Н. Малогабаритные резонансные антенны / О. Н. Маслов, А. В. Рябушкин, В. Ф. Шашенков // Инфокоммуникационные технологии. — 2010. — Т. 8, № 2. — С. 57–67.

11. Кононов, В. ЕН антенна, 40-метрового диапазона / В. Кононов. — Режим доступа : <http://www.ehant.narod.ru> (дата обращения: 20.04.2010).

12. Пат. 154886 U1 РФ, МПК Н 01 Q 1/00. Малогабаритная вибраторная антенна систем сети передачи данных в диапазонах средних и промежуточных волн / Завьялов С. А., Ляшук А. Н., Фахрутдинов Р. Р., Чащин Е. А. ; заявитель и патентообладатель Омский государственный технический университет. — № 2015110530/28 ; заявл. 24.03.2015 ; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. — 2 с.

ДУЛЬКЕЙТ Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики».

Адрес для переписки: dulkeytiv@yandex.ru

ЗАВЬЯЛОВ Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики».

Адрес для переписки: zavyalov62@mail.ru

КОСЫХ Анатолий Владимирович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства и системы диагностики», ректор.

ЛЯШУК Алексей Николаевич, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики».

ЧАЩИН Евгений Александрович, магистрант гр. ИСМ-141 факультета «Элитное образование и магистратура».

Статья поступила в редакцию 18.03.2016 г.

© И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, А. В. Косых, А. Н. Ляшук, Е. А. Чащин

Книжная полка

Гуриков, В. А. Возникновение и развитие оптико-электронного приборостроения / В. А. Гуриков. — 2-е изд. — М. : Ленанд, 2016. — 189 с. — ISBN 978-5-9710-2863-5 189.

Книга является первым историко-научным исследованием развития оптико-электронного приборостроения от его истоков до создания современных оптико-электронных систем на лазерах. Анализируются взаимосвязи различных естественных и технических наук, разрабатывающих проблемы оптико-электронного приборостроения, а также отдельные понятия и явления, лежащие в его основе. Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов старших курсов, занимающихся проблемами оптико-электронного приборостроения, а также на всех интересующихся вопросами истории науки и техники.