

УДК 261.395.62(035)

В.Ф. СОЛОДОВНИК, В.Г. УДАЧИН, Д.В. УДАЧИН*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДИОТРАСС МАЛОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ**

Существующие системы радиосвязи, организованные по сотовому принципу, имеют тенденцию к уменьшению радиуса сот. Такая тенденция имеет ряд положительных свойств, но методы расчета таких трасс малой протяженности в настоящее время не обеспечивают требуемые точности. В статье предложена методика расчета трасс протяженностью до 1 км. В соответствии с предлагаемой методикой осуществляют эквивалентный наземным препятствиям подъем подстилающей поверхности наземного профиля радиотрасс. В ходе экспериментальных исследований подтверждена адекватность этой методики.

связь, радиотрасса, эмпирический коэффициент, множитель ослабления**Введение**

Современные сотовые и микросотовые системы радиосвязи, в том числе и аэродромные, имеют тенденцию к уменьшению радиуса сот до 10...1000 метров [1 – 4]. Такое направление развития систем связи имеет ряд преимуществ:

- уменьшается мощность как базовых станций, так и абонентских станций, следовательно, их энергопотребление;
- снижается уровень облучения человека;
- упрощаются требования по электромагнитной совместимости.

Формулирование проблемы. Несмотря на преимущества таких систем, расчет радиотрасс малой протяженности ограничен. Известные методы предназначены для интегральной оценки потерь мощности при распространении радиоволн трасс длиной более 1000 м и не позволяют производить учет отдельных строений и насаждений.

Традиционно в ходе решения задачи расчета радиотрассы систем радиосвязи определяют составляющие множителя ослабления радиоволн за счет различных физических явлений, таких, как дифракция, рефракция и интерференция электромагнитного поля, потери в диэлектриках и проводниках на пути распространения радиоволн и др.

Полный множитель ослабления радиоволн при

распространении определяется выражением

$$F = F_{св} + F_z + F_{тр} + F_{стр}, \quad (1)$$

где $F_{св} = 10 \lg(\lambda/4\pi L_{тр})$ – множитель ослабления в свободном пространстве;

$F_z = F_o + F_u + F_p$ – множитель общего ослабления радиоволн за счет подстилающей поверхности, зависящий от дифракционного F_o , интерференционного F_u и рефракционного F_p множителей;

$F_{тр} = F_{газ} + F_o + F_{сл}$ – множитель ослабления за счет влияния тропосферы, зависящей от ослабления в газах $F_{газ}$, осадках F_o и слоях тропосферы $F_{сл}$;

$F_{стр}$ – множитель ослабления за счет влияния строений (городских и пригородных).

На кафедре ППОС Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского (Харьковский авиационный институт) разработан пакет прикладных программ IRT, позволяющий выполнять следующие работы:

- построение карты заданного участка (растрового изображения и цифровой электронной карты);
- построение цифровой модели рельефа заданного участка;
- расчеты трасс зоны радиосвязи (построение профилей трасс, формирование таблиц параметров трасс, текстовых и графических протоколов расчета);
- построение карт радиовидимости зоны радиосвязи (как с цветными градациями по уровню сигнала).

лов, так и с тенью, совмещенную с топографической картой);

На рис. 1 показаны результаты расчета, например, радиотрассы “Базовая станция – Ивановка” протяженностью 11 км и с высотами мачт 45 м и 16 м.

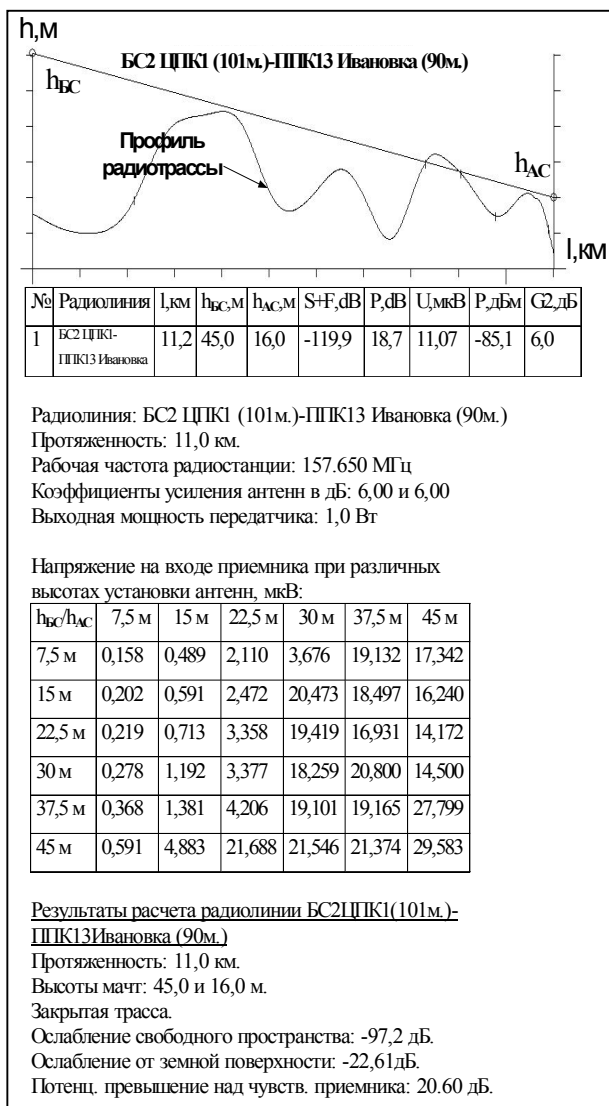


Рис. 1. Результаты расчета радиотрассы протяженностью 11 км и с высотами мачт 45 и 16 м

Недостатком программного обеспечения IRT является то, что при его непосредственном использовании не удастся учитывать при расчетах энергетики радиотрасс одиночные строения и насаждения.

В соответствии со способом Окамуры-Хата полное ослабление радиоволн при распространении определяется

$$F = A + B \cdot \lg L_{mp} - C - D, \quad (2)$$

где A, B, C, D – эмпирические соотношения Окамуры-Хата.

Аппроксимирующие соотношения A, B, C, D определяются следующим образом:

$$A = A(f, h_1, h_2) = 65,55 + 26,16 \lg(h_{BC}) - \alpha(h_{AC});$$

$$B = B(h_{BC}) = [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})];$$

$$C = C(f) = 2[\lg(f/28)^2] + 5,4;$$

$$D = D(f) = 4,78(\lg f)^2 - 19,33 \lg(f) + 40,94,$$

где h_{BC} – высота антенны базовой станции (БС); h_{AC} – высота антенны абонентской станции (АС); f – частота излучения базовой станции; $\alpha(h_{AC})$ – параметр, учитывающий влияние высоты антенны АС.

Для крупных городов параметр $\alpha(h_{AC})$ слабо зависит от частоты, однако используются две аппроксимирующие формулы:

$$\alpha(h_{AC}) = 8,28[\lg(1,54h_{AC})]^2 - 1,1 \text{ при } f \geq 200 \text{ МГц};$$

$$\alpha(h_{AC}) = 3,2[\lg(11,75h_{AC})]^2 - 4,97 \text{ при } f \geq 400 \text{ МГц}.$$

Для средних и малых городов этот параметр зависит от частоты:

$$\alpha(h_{AC}) = (1,1 \lg f - 0,7) h_{AC} - (1,56 \lg f - 0,8).$$

Таким образом, в методе Окамуры-Хата конкретные наземный профиль подстилающей поверхности радиотрасс и препятствия (строения или насаждения) распространению радиоволн не рассматривается, а задаются интегрально эмпирическими соотношениями для A, B, C, D при $C = D = 0$ для городской зоны, $D = 0$ для пригородной зоны и $C = 0$ для открытой местности. Поэтому в методе Окамуры-Хата учитывать одиночные строения и насаждения тоже невозможно.

Для расчетов малопроотяженных трасс предлагается способ, учитывающий одиночные строения и насаждения.

Решение проблемы

В соответствии с предлагаемым методом, перед определением общего ослабления F радиоволн осуществляют эквивалентный наземным препятствиям

подъем подстилающей поверхности наземного профиля радиотрасс (рис. 2).

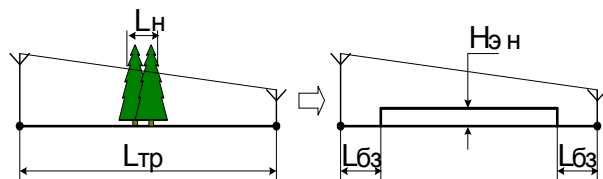


Рис. 2. Радиотрасса с насаждениями и её эквивалентное представление

При этом подъем подстилающей поверхности радиотрасс осуществляют на эквивалентные прибавки высоты $H_{э н}$ за счет насаждений, соответственно, по всей протяженности $L_{тр}$ радиотрасс, кроме ближних зон $L_{бз}$ передающей и приемной антенн. После этого определяют $F_{св}$, F_z , $F_{тр}$ и полное ослабление F .

При этом принимают $F_{сгр} = 0$, а ослабление сигнала за счет насаждений учитывается в F_z из-за эквивалентного этим наземным препятствиям подъема подстилающей поверхности наземного профиля радиотрасс.

Прибавки высоты за счет насаждений определяют

$$H_{э н} = K_n \cdot L_n, \quad (3)$$

где K_n – эмпирический коэффициент, определяемый для разных сезонов, погодных условий и при разном зеленом покрове насаждений, L_n – протяженность части радиотрассы, проходящей через насаждения.

Для определения эмпирических коэффициентов K_n были выполнены экспериментальные исследования трёх трасс малой протяженности.

Для проведения экспериментальных исследований было использовано следующее оборудование. Селективный микровольтметр SMV 8.5, который является высокочувствительным гетеродинным измерительным приёмником, работающим в частотном диапазоне от 26 МГц до 1000 МГц, предназначенный для измерения синусоидальных высокочастотных напряжений и измерения напряжений помех.

Может использоваться с различными видами согласованных антенн.

Для данного эксперимента приемник SMV 8.5 использовался с электрическим четвертьволновым вибратором на частоте 144,675 МГц. Коэффициент стоячей волны этого вибратора на рабочей частоте не превышает 1,5 при коэффициенте усиления (K_y), близком к нулю ($-0,2$ дБ).

Указанная величина K_y может не учитываться, так как лежит в пределах основной погрешности измерительных приборов.

В качестве абонентской станции использовался приемопередатчик Motorola GP300 с антенной длиной 140 мм, мощностью излучения 1Вт на частоте 144,675 МГц.

Экспериментальные исследования выполнялись на территории Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского (Харьковский авиационный институт) на трёх трассах длиной от 100 до 200 метров с различными видами зеленых насаждений в летнее время года.

На первом этапе было осуществлено исследование энергетики трасс по десяти измерениям на каждой трассе при разных погодных условиях (табл. 1).

С помощью программного обеспечения, методом подбора были определены эквивалентные прибавки высоты $H_{э н}$ для всех 30 измерений (табл. 1).

В ходе этих исследований были определены эмпирические коэффициенты K_n . (табл. 2).

На рис. 3, 4 приведены результаты расчета радиотрассы с применением предлагаемого способа эквивалентного насаждениям подъема подстилающей поверхности.

При этом на рис. 3 показана исходная радиотрасса, а на рис. 4 – трасса с эквивалентным подъемом подстилающей поверхности.

В эксперименте, проведенном на этой же радиотрассе (трасса 3/3), погрешность расчета составила 2 мкВ или в относительных величинах $-0,3$ %.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Трасса \ № эксперимента \ влажность	Напряжение, мкВ	$H_{нэкв}$, м	L_n , м	K_n
1\1 > 70%	177,8	4,99	7	0,71
1\2 > 70%	281,8	4,4	7	0,62
1\3 < 70%	2239	1,6	7	0,22
1\4 < 70%	1778	1,96	7	0,28
1\5 > 70%	100	5,78	7	0,82
1\6 > 70%	223,9	4,7	7	0,67
1\7 > 70%	177,8	4,99	7	0,71
1\8 > 70%	56,1848	6,75	7	0,96
1\9 > 70%	561,848	3,54	7	0,50
1\10 > 70%	397,844	3,96	7	0,56
2\1 > 70%	15,85	16	106	0,15
2\2 > 70%	35,45	12,7	106	0,11
2\3 < 70%	316	5,9	106	0,05
2\4 < 70%	177,8	7,1	106	0,06
2\5 > 70%	15,85	16	106	0,15
2\6 > 70%	56,18	10,7	106	0,10
2\7 > 70%	22,39	14,4	106	0,13
2\8 > 70%	17,78	15,5	106	0,14
2\9 > 70%	56,18	10,7	106	0,10
2\10 > 70%	35,45	12,7	106	0,11
3\1 > 70%	100	8,4	56	0,15
3\2 > 70%	158,5	7,3	56	0,13
3\3 < 70%	793,79	3,1	56	0,05
3\4 < 70%	793,79	3,1	56	0,05
3\5 > 70%	50,08	11,4	56	0,20
3\6 > 70%	112,2	8,1	56	0,14
3\7 > 70%	112,2	8,1	56	0,14
3\8 > 70%	112,2	8,1	56	0,14
3\9 > 70%	112,2	8,1	56	0,14
3\10 > 70%	316	5,9	56	0,10

Таблица 2

Эмпирические коэффициенты K_n для учета влияния насаждений

	Влажность > 70%	Влажность < 70%
K_n для хвойных деревьев	0,136	0,058
K_n для лиственных деревьев	0,698	0,254

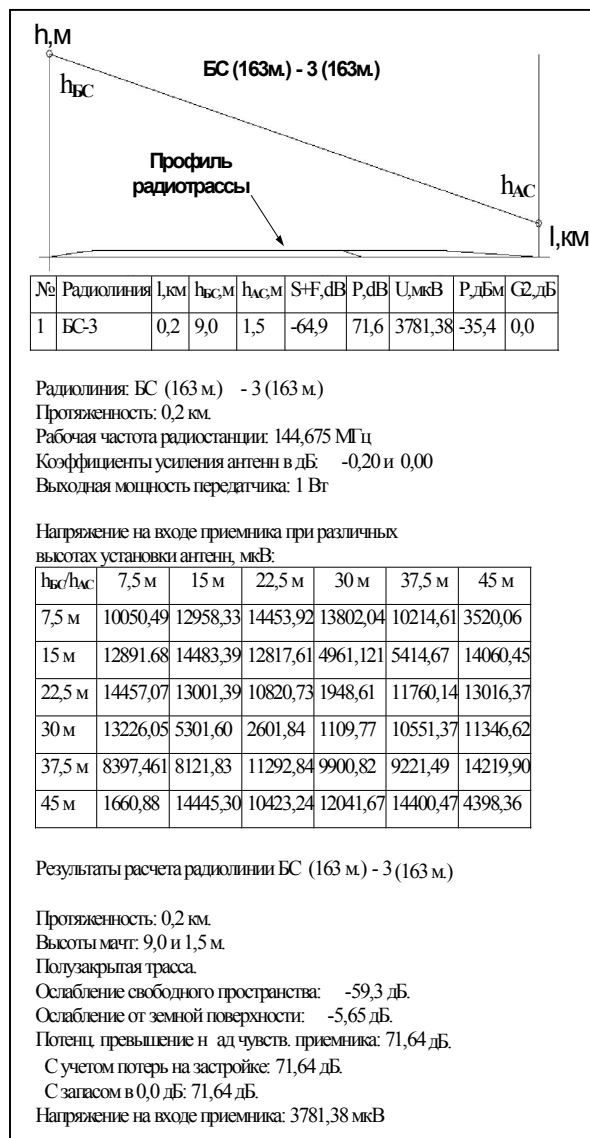


Рис. 3. Исходная радиотрасса малой протяженности

Кроме того, можно учитывать и одиночные строения. Исходя из результатов проведенных ранее исследований, можно предложить два способа учета одиночных строений.

1. Подъем подстилающей поверхности осуществляют на высоту строений в месте их расположения (рис. 5).

2. Осуществляют эквивалентный наземным строениям подъем подстилающей поверхности наземного профиля радиотрасс за исключением ближних зон передающей и приемной антенн (рис. 6).

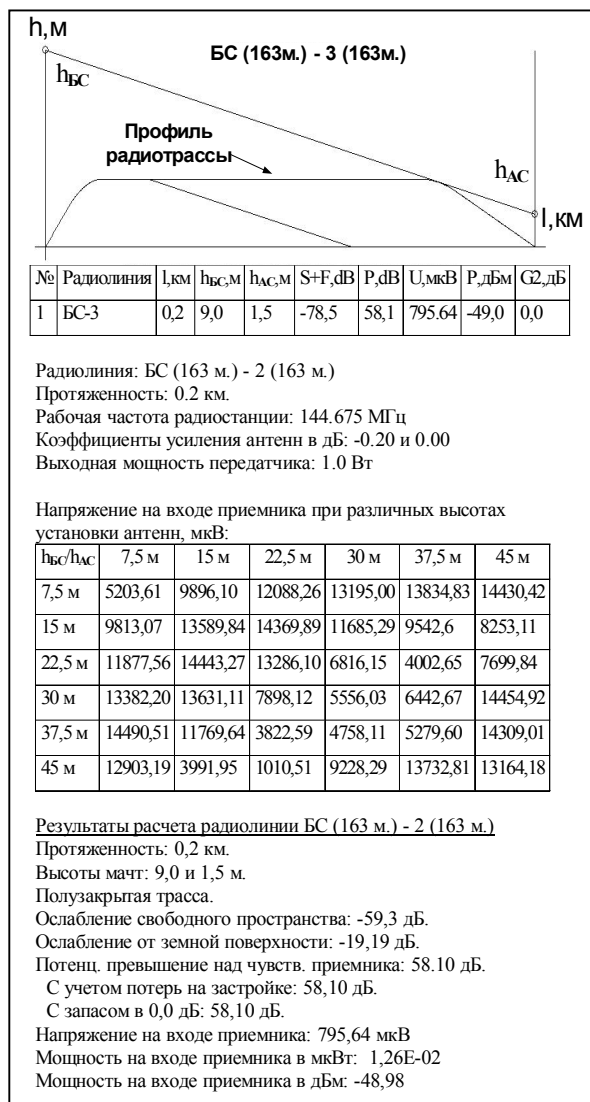


Рис. 4. Трасса с эквивалентным подъемом подстилающей поверхности

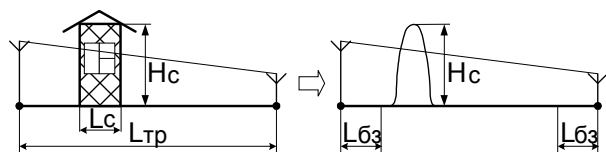


Рис. 5. Радиотрасса со строением и её эквивалентное представление по первому способу

По первому способу эксперименты подтверждают адекватность учета строений. По второму спосо-

бу следует провести дополнительные экспериментальные исследования с целью определения эмпирического коэффициента K_c .

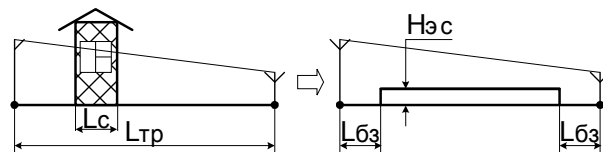


Рис. 6. Радиотрасса со строением и её эквивалентное представление по второму способу

При этом прибавки высоты за счет строений определяются

$$H_{zc} = K_c \cdot L_c, \quad (4)$$

где K_c – эмпирический коэффициент учета строений; L_c – протяженность части радиотрассы, проходящей через строения.

Заключение

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволяют рекомендовать методику расчета радиотрасс малой протяженности для моделирования радиосистем связи с малым радиусом сот, в том числе сотовых и микросотовых радиосистем.

Литература

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
2. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Шелухин О.И., Хизгилов В.А., Чивилев С.В. Системы радиодоступа / Под ред. О.И. Шелухина. – М.: ГАСБУ, 1998. – 116 с.
4. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997. – 238 с.

Поступила в редакцию 15.09.2005

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Е.В. Милькевич, Харьковский университет Воздушных Сил.