

**РАДИОРАЗПРЪСКВАНЕ В СЛОЖНА АРХИТЕКТУРНА СРЕДА****RADIO BROADCASTING IN A COMPLEX ARCHITECTURAL ENVIRONMENT****Rosen Tsvetkov***Technical University of Gabrovo, Bulgaria***Abstract**

*This report examines ways of transmitting radio signals in a complex architectural environment in the absence of direct visibility. In this case, the signal arrives at the reception point due to reflected and diffracted signals from streets, buildings and roofs. Depending on the frequency of the radio signal, the situation changes dynamically and requires the use of different mathematical models to determine the predictive characteristics of the signal at the receiving point. In addition, a simulation was performed using a program product WinProp. This allows a comparative analysis between theoretical and simulation results to be done.*

**Keywords:** Radio broadcasting, Mathematical models, Radio propagation, Complex architectural environment, Urban Site propagation, Wireless communication, WinProp.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

В настоящия доклад е изследвано разпространението на радиовълните в сложна градска среда при липса на пряка видимост. Това би дало възможност за точно определяне местоположението на антените в уличните каньони при наличие на засенчване. Симулационното проектиране може да се използва за основа при изграждането на различни мрежи в гъсто застроена среда (DVB-T/T2, GSM, Wi-Fi, WiMax и др.) [4]. Използвана е кадастрална карта на жилищен район, като са отразени точно височините на сградите (от 4 m до 50 m), улиците са с ширина от 8 m до 20 m. Това дава възможност да се направи сравнителна оценка между теоретично и симулационно получени данните за затихването на радиосигнала.

Анализирани са три случая на разположение на предавателната антена по централния булевард на условно избран град и е изчислено затихването на радиосигнала в странична улица при липса на пряка видимост. Отчита се влиянието на отразени и пречупени радиолъчи от сградите, включително и от техните ъгли. Симулационното изследване е направено с програмния продукт WinProp [5], като са използвани едни и

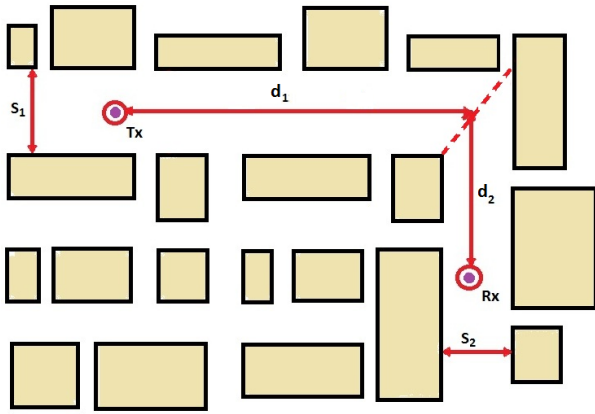
същи входни данни за различните математични модели.

Радиоразпръскването в сложна архитектурна среда има своите особености, когато предавателната антена се намира на сравнително малка височина под нивото на покривите на сградите. Този случай е характерен за разпръскване на Wi-Fi сигнал по централните булеварди на градовете, а абонатът се намира на известно разстояние в странична улица на височина до 2 m. Радиовръзката може да се реализира благодарение на отразени и дифрактирани сигнали, което предполага използването на сложни теоретични модели при даването на предварителна оценка за разпространението на сигнала [5].

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

**Изчисляване на загубите при разпространение на радио сигнала при липса на пряка видимост (NLoS) за честоти от 800 до 2000 MHz**

На фиг. 1 е дадена изследваната ситуация в градска среда.



Фиг. 1. Ситуация в градска среда

Когато и двете антени се намират по-ниско от покривите на сгради трябва да се има предвид отражението и пречупването на радио сигнала от ъглите на сградите при разпространение в градска архитектурна среда [1], [2]. Загубите се определят като:

$$L_{\text{NLoS}} = -10 \log_{10} \left( 10^{-L_r/10} + 10^{-L_r/10} \right), \quad (1)$$

където:

$L_r$  са загубите от разпространение на отразени радиосигнали.

$$L_r = 20 \log_{10} (d_1 + d_2) + d_1 d_2 \frac{f(\alpha)}{s_1 s_2} + 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right), \quad (2)$$

където:

$d_1$  е разстоянието, осигуряващо пряка видимост в m,

$d_2$  е разстоянието в уличния каньон в m,

$s_1, s_2$  са широчината на улиците в m,

а  $f(\alpha)$  се изчислява по (3)

$$f(\alpha) = \frac{3.86}{\alpha^{3.5}}, \quad (3)$$

където:

$$0,6 < \alpha \text{ [rad]} < \pi.$$

$L_d$  са дифракционите загуби по трасето, които се определят като:

$$L_d = 10 \log_{10} [d_1 d_2 (d_1 + d_2)] + 2D_a - 0,1 \left( 90 - \alpha \frac{180}{\pi} \right) + 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right), \quad (4)$$

където:

$$D_a = \left( \frac{40}{2\pi} \right) \left[ \arctan \left( \frac{d_2}{d_2} \right) + \arctan \left( \frac{d_1}{d_1} \right) - \frac{\pi}{2} \right]. \quad (5)$$

### Изчисляване на загубите при разпространение на радио сигнала при липса на пряка видимост (NLoS) за честоти от 2 до 16 GHz

Моделът на разпространение при NLoS ситуации с ъгли на улиците  $\alpha = \pi/2$  rad са дефинирани на база на измервания, направени при честоти от 2 до 38 GHz където  $h_1, h_2 < h_r$  и  $s_2$  е до 10 m.

$$L_{\text{NLoS}} = L_{\text{LoS}} + L_c + L_{\text{att}}, \quad (6)$$

където:

$L_{\text{LoS}}$  са загубите от разпространение на радио сигнала при наличие на пряка видимост, когато разстоянието  $d_1 > 20$  m;

$L_{\text{corner}}$  се приема за 20 dB в градска среда или 30 dB при жилищни комплекси;

$d_{\text{corner}}$  е 30 m и в двата случая.

$$L_c = \frac{L_{\text{corner}}}{\log_{10} (1 + d_{\text{corner}})} \log_{10} (d_2 - d_1/2),$$

когато :

$$s_1/2 + 1 < d_2 \leq s_1/2 + 1 + d_{\text{corner}} \quad (7)$$

$$L_c = L_{\text{corner}},$$

когато :

$$d_2 > s_1/2 + 1 + d_{\text{corner}} \quad (8)$$

$$L_{\text{att}} = 10\beta \log_{10} \left( \frac{d_1 + d_2}{d_1 + s_1/2 + d_{\text{corner}}} \right),$$

когато :

$$d_2 > s_1/2 + 1 + d_{\text{corner}} \quad (9)$$

$$L_{att} = 0.$$

когато :

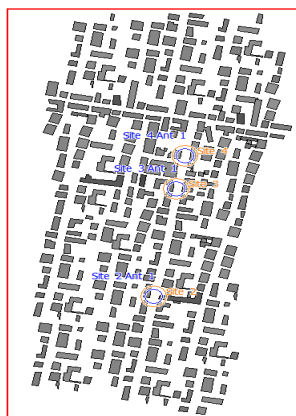
$$d_2 \leq s_1 / 2 + 1 + d_{corner} \quad (10)$$

където:

$\beta = 6$  в градска среда при наличието на клиновидни сгради.

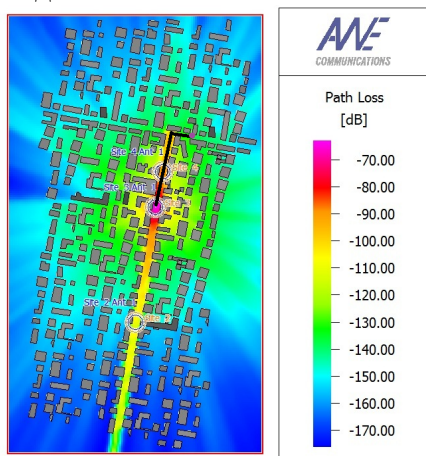
На фиг. 2 е дадена ситуацията от градска среда, която е използвана за реализиране на симулационния експеримент.

Изследвани са два симулационни експеримента. Единият е на честота 2 GHz, при мощност на предавателя 20 dBm, при височина на предавателната и приемна антени съответно  $h_1=4$  m и  $h_2=2$  m.



Фиг. 2. Реална ситуация в градска среда

На фиг. 3 за показани получените симулационни резултати от експеримента, реализиран на честота 2 GHz, използвайки модел, подходящ за разпространение на радиосигнала в градска среда при липса на пряка видимост.



Фиг. 3. Симулационен експеримент на честота 2 GHz

В таблица 1 са дадени получените резултати, свързани с теоретичния модел и резултатите от първия симулационен експеримент, като:

$L_{NLoS}$  -загуби от затихване на радиосигнала, използвайки теоретичния модел,

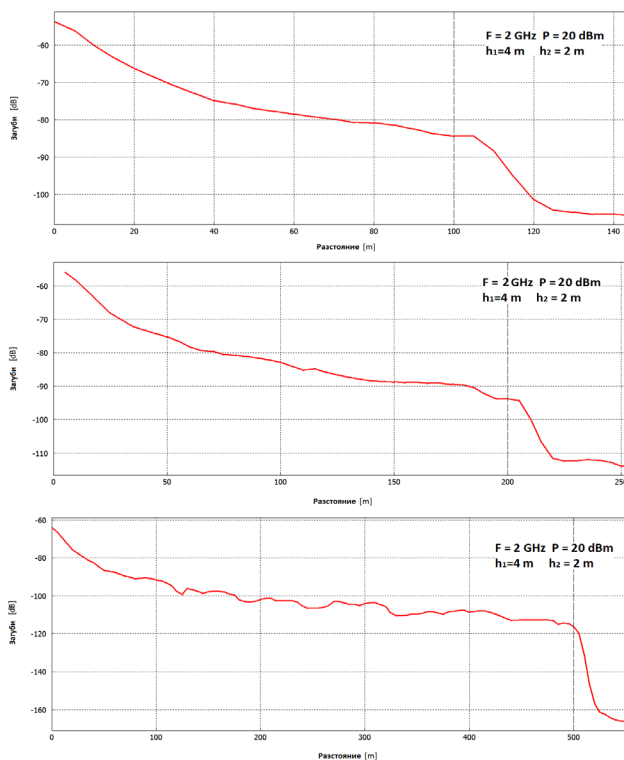
Таблица 1. Затихване на радиосигнала (NLOS) при честота 2 GHz

	$d_1$ (m)	$d_2$ (m)	$S_1$ (m)	$S_2$ (m)	$L_{NLoS}$ (dB)	$L_{NLoS1}$ (dB)	$L_{NLoS2}$ (dB)
1	100	50	20	10	100	104	113
2	200	50	20	10	117	113	119
3	500	50	20	10	126	146	143

$L_{NLoS1}$  - загуби от затихване на радиосигнала, използвайки Empirical COST-Walfisch-Ikegami модел;

$L_{NLoS2}$  - загуби от затихване на радиосигнала, използвайки Knife Edge Diffraction модел.

На фиг. 4 са показани получените симулационни резултати от експеримента, реализиран на честота 2 GHz, използвайки същите два модела, подходящи за разпространение на радиосигнала в градска среда при липса на пряка видимост.



Фиг. 4. Затихване на радиосигнала при трите ситуации на честота 2 GHz

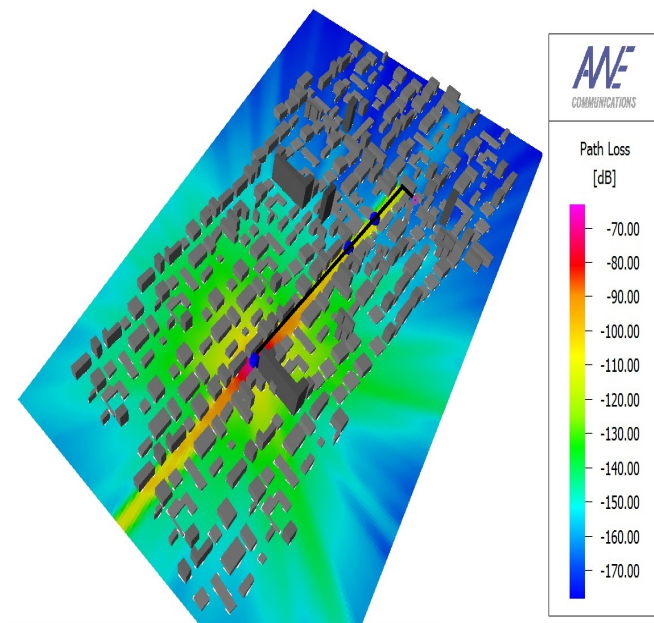
Вторият симулационен експеримент е на честота 5 GHz,

**Таблица 2.** Затихване на радиосигнала (NLOS) при честота 5 GHz

	$d_1$ (m)	$d_2$ (m)	$s_1$ (m)	$s_2$ (m)	$L_{NLoS}$ (dB)	$L_{NLoS1}$ (dB)	$L_{NLoS2}$ (dB)
1	100	50	20	10	108	123	124
2	200	50	20	10	113	131	133
3	500	50	20	10	120	165	166

при мощност на предавателя 30 dBm, при височина на предавателната и приемна антени съответно  $h_1=4$  m и  $h_2=2$  m.

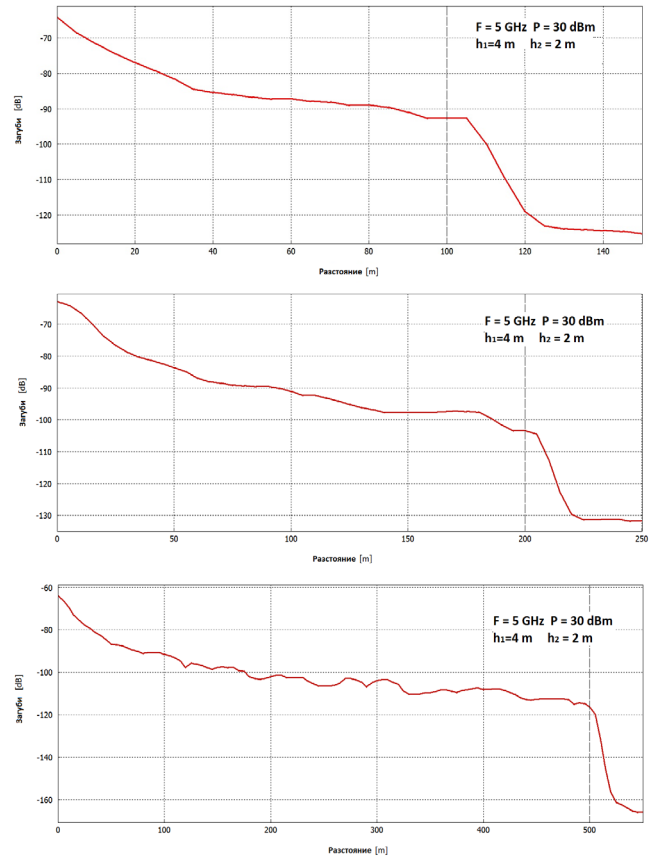
На фиг. 4 за показани получените симулационни резултати от експеримента, реализиран на честота 5 GHz, използвайки модел, подходящ за разпространение на радиосигнала в градска среда при липса на пряка видимост.



**Фиг. 5.** Симулационен експеримент на честота 5 GHz

В таблица 2 са дадени получените резултати, свързани с теоретичния модел и резултатите от втория симулационен експеримент.

На фиг. 6 са показани получените графични зависимости при трите разстояния за честота 5 GHz.



**Фиг. 6.** Затихване на радиосигнала при трите ситуации на честота 5 GHz

На фиг. 3 и фиг. 5 са визуализирани направленията, по които се извършва измерването, като предавателната антена се намира на височина 4 m.

На фиг. 4 и фиг. 6 са дадени графичните зависимости на затихването на радиосигнала за три конкретни случая за двете честоти (2 GHz и 5 GHz), при разстояния съответно 150 m, 250 m и 550 m, като последните 50 m са в страничната улица, която е с ширина 10 m.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на настоящото изследване е да се реализира симулационен експеримент (използвайки два модела, заложи в автоматизираната среда на WinProp –  $L_{NLoS1}$  и  $L_{NLoS2}$ ) и получените резултати да се сравнят с тези от използвания теоретичен модел ( $L_{NLoS}$ ) [5].

При първия експеримент (на честота 2 GHz) съществено различие при анализ на получените резултати се констатира за третия случай (приблизително 20 dB), когато разстоянието на комуникация е 550 m.

От графичните зависимости показани на фиг. 4 се вижда, че затихването на пресечката на двете улици  $L_{corner}$  е от порядъка на 20 dB за първия и втория случай и 40 dB за третия случай. За втория експеримент, реализиран на честота 5 GHz затихването  $L_{corner}$  е съответно 30 dB за първия и втория случай и почти 50 dB за третия случай. И при двата експеримента се вижда, че увеличаването на разстоянието на комуникацията по

централната улица (с широчина 20 m) се отклонява от теоретичния модел, който дава стойност на затихването на радиосигнала  $L_{corner}$  в градска среда от порядъка на 20 dB и 30 dB в жилищни райони. Имайки предвид точността на теоретичния модел, направен на базата на много експериментални измервания и валиден за територията на Европейския съюз е препоръчително при по-големи разстояния (> 500 m) да се коригират симулационните измервания, увеличаването на затихването приблизително с 20 dB на честота 2 GHz и с 45 dB на честота 5 GHz.

## REFERENCE

- [1] ITU-R Recommendation P.1411-7, 09/2013.
- [2] ITU-R Recommendation P.1411-9, 06/2017.
- [3] Iliya Iliev, Mobile Communications, 2014.
- [4] Nathan Blaunstein, Christos G. Christodoulou, Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Networks, 2nd Edition, Wiley, 2014.
- [5] WinProp, Manuals for WallMan and ProMan, software product of AWE-Communications, 2009.