

А. А. СТРЕЛЬНИЦКИЙ, А. Е. СТРЕЛЬНИЦКИЙ, А. И. ЦОПА, канд. техн. наук.,
В. М. ШОКАЛО, д-р. техн. наук

ВОЛНОВЫЕ КАНАЛЫ АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МОДЕЛЬ И НОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Введение

Быстрое внедрение современных технологий беспроводного доступа Wi-Fi и WiMAX, основанных на применении широкополосных сигналов, предусматривает решение широкого круга теоретических и экспериментальных задач, вызванных необходимостью упрощения методов построения радиоканалов беспроводных сетей.

В данной статье выделено два направления таких исследований, связанных с механизмом распространения радиоволн (РРВ) по волновым каналам архитектурных сооружений (ВКАС) [1, 2] (в это понятие авторы включают волновые каналы городских улиц и коридоров зданий).

Первое направление исследований вызвано необходимостью упрощения модели РРВ по ВКАС, т.к. известные из [3, 4] строгие модели ВКАС базируются на методах физической теории дифракции и недостаточно эффективны в силу больших временных затрат на вычисления.

Расчеты, связанные с территориальным планированием беспроводных сетей и оценкой эффективности радиоканалов, затруднены еще и тем, что существует несколько механизмов РРВ в зданиях и городских районах. Знание того, какой из механизмов РРВ является доминирующим в той или иной ситуации тоже может упростить моделирование РРВ в радиоканалах. Логично предположить, что в случае перемещения мобильных объектов по коридорам зданий и городским улицам, доминирующим механизмом РРВ будет являться распространение по ВКАС. Однако это предположение в известных работах пока не доказано. Обсуждение его достоверности на основании данных эксперимента – это второе направление исследований, описанное в представленной статье.

Таким образом, цель данной работы состоит в повышении эффективности модели ВКАС за счет ее представления в виде многополюсных цепей и выяснении доминирующего механизма РРВ по коридорам зданий и городским улицам.

Модель ВКАС и метод расчета

Сформулируем основные положения предлагаемого метода.

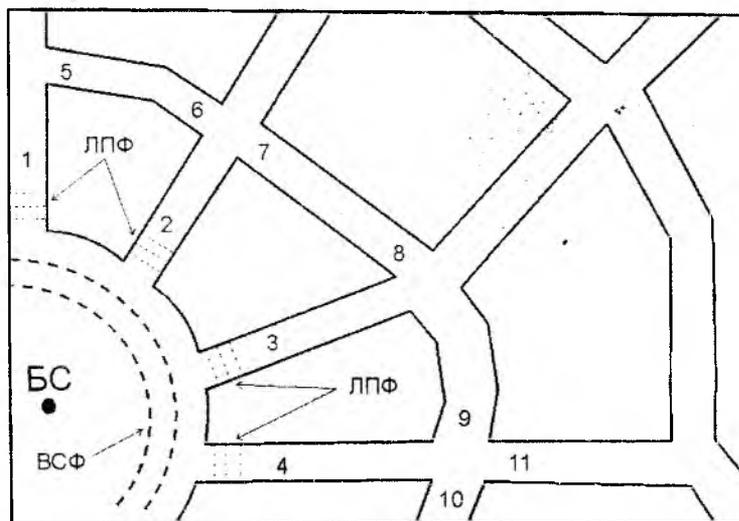


Рис. 1

На рис. 1 приведен фрагмент городского района с базовой станцией (БС), установленной на площади. Она излучает волны со сферическим фронтом (ВСФ). Далее будем считать (исходя из принципа Гюйгенса), что в радиальных улицах (обозначены цифрами 1-4 на рис. 1)

излучаемая сферическая волна переходит в ряд волн с локально плоским фронтом (ЛПФ). Дальнейший подход состоит в представлении однородного линейного отрезка ВКАС отрезком эквивалентной двухпроводной линии с потерями, по которой распространяется волна типа Т. Волновое сопротивление такой линии без учета потерь равно характеристическому сопротивлению свободного пространства Z_0 .

Каждый из отрезков эквивалентной линии может быть описан моделью распространения волн для закрытых помещений ХНУРЭ Wi-Fi [5] с известным коэффициентом передачи, который зависит от геометрии и материала постройки волнового коридора. В итоге отрезки линии легко представляются матрицами рассеяния $[S]$ четырехполюсников [6].

Свойства этих отрезков таковы:

– в силу распространения в них волны типа Т все эквивалентные линии имеют волновое сопротивление равное Z_0 ;

– пересечение улиц (например: 4, 9, 10, 11 на рис. 1) представляют собой последовательное включение эквивалентных отрезков линий и в терминах теории цепей является системой распределения мощности (СРМ).

СРМ с n равными каналами деления, описываемые матрицами $[S]$ идеальных многополюсников, в совокупности с отрезками линий с потерями, образуют определенную схему, расчет которой может быть выполнен по циклическим алгоритмам. В итоге рассматриваемая схема приводится к эквивалентному многополюснику [6] (рис. 2), с помощью которого можно определить интенсивность поля в любой точке ВКАС.

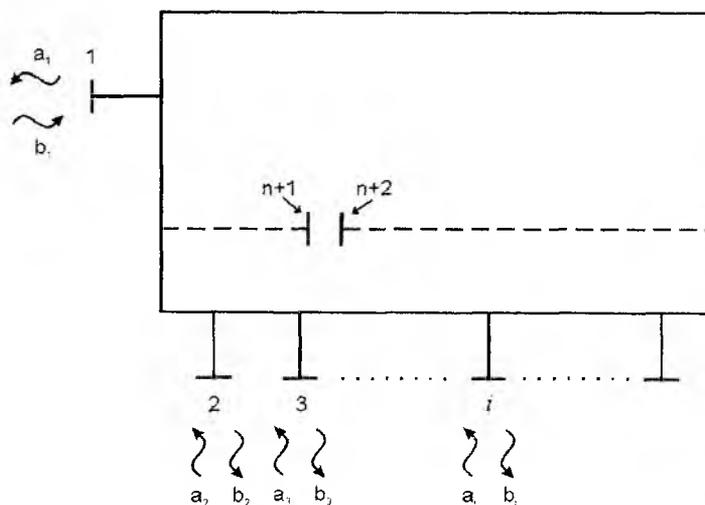


Рис. 2

В этом случае задача формулируется следующим образом. Пусть имеется цепь, эквивалентная ВКАС и содержащая n внешних плеч. Требуется определить интенсивность и фазу напряженности поля в определенном сечении цепи, поставленном в соответствие рассматриваемым координатам ВКАС. В общем случае цепь возбуждается с любого количества плеч (рис. 2, где a_i, b_i – интенсивности падающих и отраженных волн). Например, для случая рис. 1 число источников возбуждения равно 4.

Поставленная задача решается по методике [6]. Выделим в цепи сечение, в котором требуется определить интенсивность и фазу сигнала. Условно разорвем в этом месте линию передачи (рис. 2). Обозначим при этом дополнительные плечи через $n+1$ и $n+2$, а матрицу получившегося многополюсника через $[S_{ij}] (i, j = 1, 2, \dots, n+1, n+2)$. Если цепь возбуждается со всех плеч или части плеч, то результирующая волна запишется так [6]:

$$b_{\text{рез}} = \frac{\sum_{i=1}^k \left[S_{n+1,j} \left(1 - S_{n+1,n+2} + S_{n+2,n+2} \right) + S_{n+2,i} \left(1 - S_{n+2,n+1} + S_{n+1,n+1} \right) \right]}{\left(1 - S_{n+1,n+2} \right) \left(1 - S_{n+2,n+1} \right) - S_{n+2,n+2} S_{n+1,n+1}} a_i \quad (1)$$

Экспериментальные исследования ВКАС с помощью технологий Wi-Fi

Целесообразность практического применения изложенного выше подхода проверялась экспериментально. Изучалась возможность описания матрицей $[S]$ шестиполосника разветвления одного из коридоров ХНУРЭ (рис. 3). Известно [6], что в шестиполоснике, образованном тремя линиями с волновым сопротивлением Z_0 , $1/9$ части мощности отражается, а по $4/9$ ($-3,4$ дБ) мощности выделяется в выходных плечах.

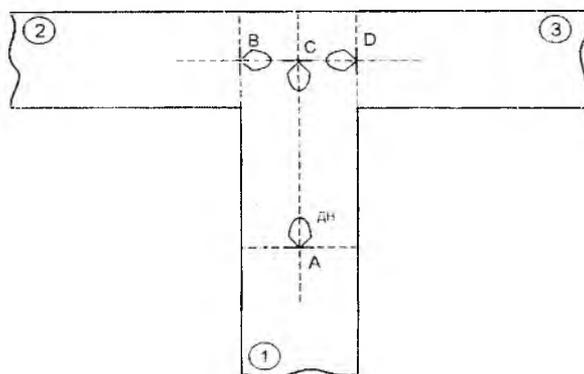


Рис. 3

Затухание в плечах 2 и 3 разветвителя (рис. 3) при движении энергии из плеча 1 измерялось с помощью радиолинии организованной из двух абонентских станций (АС) с технологией Wi-Fi.

Данные опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

$h_{AC}, \text{ м}$	$\alpha_B, \text{ дБ}$	$\alpha_D, \text{ дБ}$
0,5	-4,5 (-4,3)	-4,4 (-4,3)
1	-4,8 (-4,2)	-3,9 (-4,2)

Здесь обозначено: h_{AC} – высота АС над полом; α_B и α_D – затухания сигнала в точках В и D относительно точки С. На рис. 3 показаны направления максимумов диаграмм направленности антенн АС.

В таблице также представлены (в скобках) результаты расчетов, которые были получены с помощью модели РРВ ХНУРЭ Wi-Fi для оценки затухания на отрезках ВС и CD и матрицы рассеяния тройника. Из таблицы следует, что результаты опытов и расчетов хорошо согласуются. Это дает право рекомендовать изложенный подход для прогнозирования уровней полей в ВКАС.

Результаты экспериментальных исследований доминирующего механизма РРВ с помощью технологии WiMAX

Для проведения экспериментальных исследований в ХНУРЭ была создана мобильная лаборатория, схема которой приведена на рис. 4. В состав мобильной лаборатории входит следующее оборудование: абонентская станция WiMAX BreezeMAX 3500 (Alvarion), ноутбук «Asus», GPS приемник NovAtel SS-II, преобразователь напряжения ПН-12В/220В, аккумуляторная батарея АКБ-12 В.

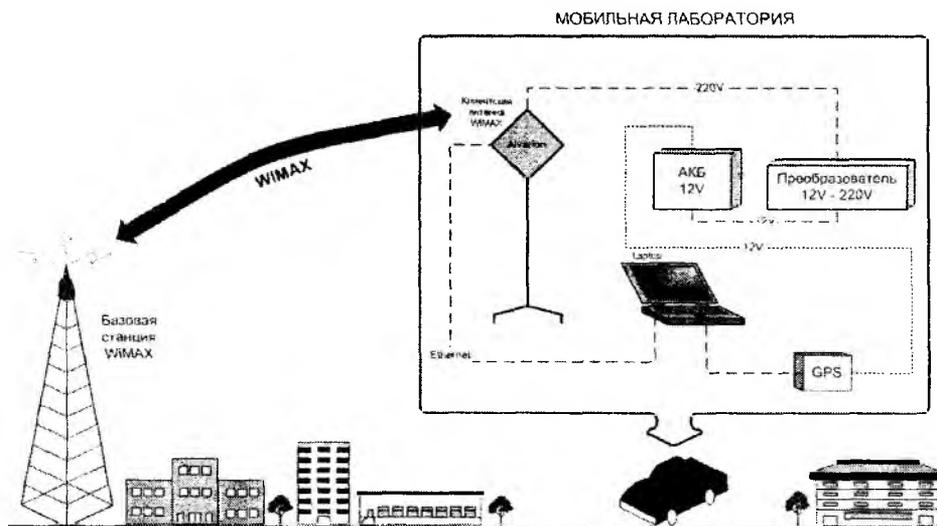


Рис. 4

В технологии радиодоступа WiMAX на базовой станции (БС) используются секторные антенны с широкой диаграммой направленности (рис. 5, а), а абонентские станции (АС) имеют встроенную антенну с узкой диаграммой направленности и малым уровнем приема заднего лепестка (рис. 5, б) [7].

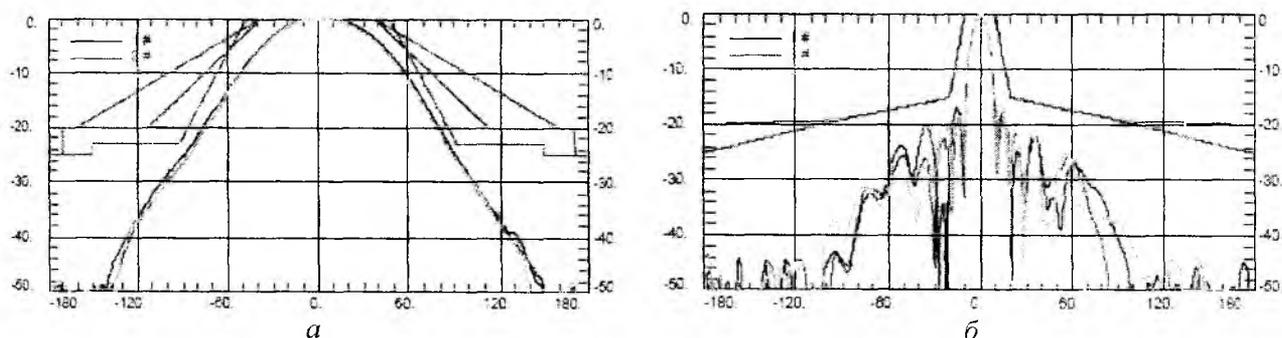


Рис. 5

Эта особенность аппаратуры WiMAX позволяет предложить новую методику экспериментального доказательства существования волновых коридоров и сравнения уровней сигналов S и отношений сигнал/шум S/N , созданных в точке приема за счет различных механизмов распространения.

Рассмотрим рис. 6. Здесь БС расположена на продольной по рисунку улице. Тогда в предположении наличия волновых коридоров, в поперечной улице, образованной ансамблями домов $D1$ и $D2$, должно возникнуть два потока волн (указаны на рис. 6 стрелками). Эти потоки являются бегущими волнами, движущимися навстречу друг другу. Они интерферируют, образуя смешанную волну. При малых потерях потоки будут иметь практически равные интенсивности и волна будет близкой к стоячей.

Из приведенного описания следует такая методика измерений. Диаграмма направленности (ДН) приемной антенны направляется максимумом в точку 1 (рис. 6), регистрируя, таким образом, поток энергии, движущийся из точки 1 в точку 2. Затем максимум ДН направляется в точку 2 и регистрируется обратный поток энергии. Наличие обоих потоков свидетельствует о существовании волнового коридора. Ориентируя максимум ДН в точку 3 или 4 (точки на стенах ансамблей домов), можно зарегистрировать интенсивность сигнала, образованного за счет дифракционного распространения радиоволн.

Новизна предложенной методики по сравнению с известными работами (например, [8]) заключается в том, что за счет применения антенны с узкой ДН удастся выявить направление

движение потоков энергии вдоль улиц и разделить вклады различных механизмов РРВ в уровень принимаемого сигнала.

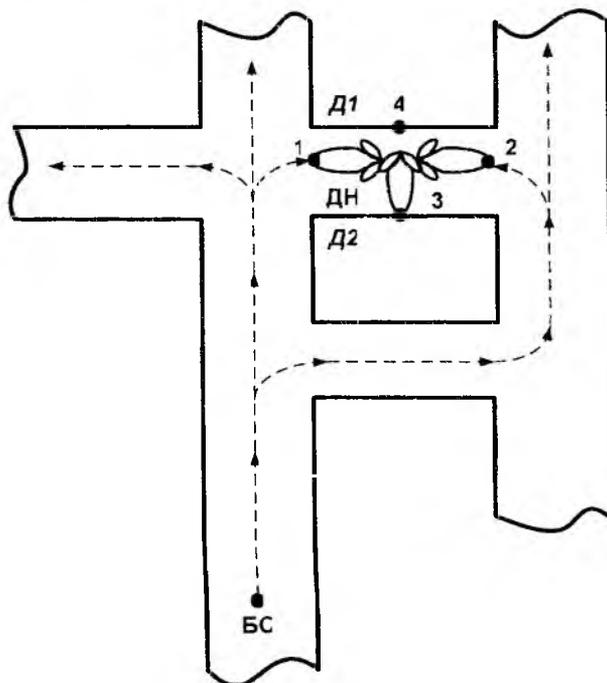


Рис. 6

Экспериментальные исследования по предложенной методике проведены в одном из четырех секторов работы БС, установленной на мачте здания ГОСПРОМ (г. Харьков) ($h_{БС} = 80 м$).

Результаты измерений уровней сигнала S и сигнал/шум S/N по улице им. Я. Галана (г. Харьков) приведены на рис. 7. Здесь кривые 1 и 3 – это зависимости отношения S/N и интенсивности сигнала S соответственно вдоль улицы при движении от точки 1 в точку 2, а кривые 2, 4 – те же кривые только в обратном направлении.

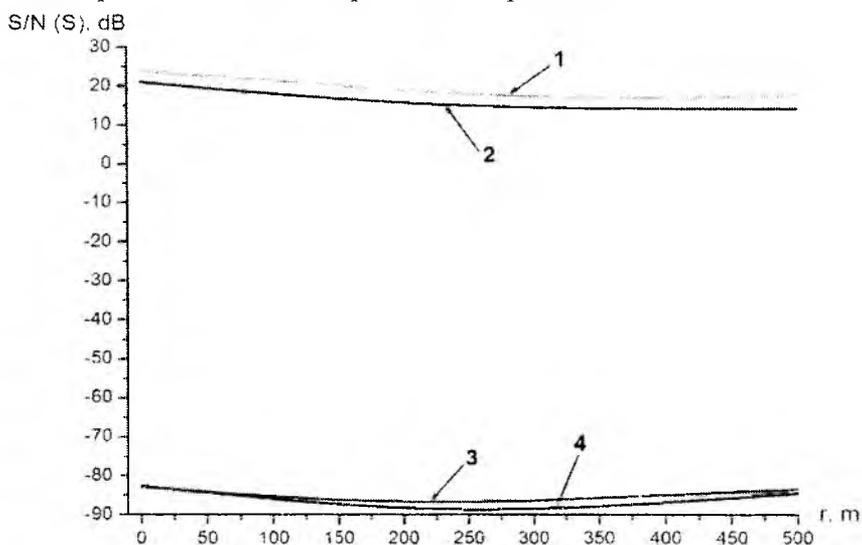


Рис. 7

Исходя из предыдущих рассуждений нетрудно заключить, что в исследуемом случае действует механизм РРВ по ВКАС. Измерения проводились при высоте приемной антенны $h_{АС} = 1,5 м$ над уличным покрытием. Дальнейшие измерения показали, что интенсивность сигналов в точках 1 и 3 отличаются на $-(10 \div 15) дБ$, т.е. вклад в интенсивность сигнала механизма дифракции более чем на порядок меньше, чем механизма РРВ по ВКАС.

Исследования по представленной работе поддержаны грантом Государственного фонда фундаментальных исследований при Министерстве образования и науки Украины (Ф25/737-2007).

Выводы

1. Предложены подход и модель прогнозирования полей в волновых каналах архитектурных сооружений, основанные на применении теории цепей и модели ХНУРЭ Wi-Fi для описания процесса РРВ.

2. Проведены эксперименты и расчеты, частично подтверждающие достоверность предложенной модели РРВ, которая названа авторами моделью ХНУРЭ–ВКАС.

3. Предложена новая методика обнаружения волновых коридоров, с помощью которой доказано существование ВКАС в центральном районе г. Харькова на частотах 3,5 ГГц (технология WiMAX). Также доказано, что этот механизм РРВ является доминирующим по сравнению с механизмом дифракции при оговоренных в статье условиях измерений ($h_{BC} = 80\text{ м}$, $h_{AC} = 1,5\text{ м}$ и малоэтажная застройка района измерений).

Список литературы: 1. *Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ* / Под. ред. У.К. Джейкоба: Пер. с англ. / Под. ред. М.С. Ярлыкова, М.В. Чернякова. М.: Связь, 1979. 520 с. 2. *Потапов А.В.* Исследования пространственной неоднородности электромагнитного загрязнения окружающей среды с применением цифровых проблемно-ориентированных моделей: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2006. 3. *N. Yarkoni and N. Blaunstein.* Prediction of Propagation Characteristics in Indoor Radio Communication Environments // Progress In Electromagnetics research, PIER 59, pp. 151-174, 2006. 4. *Гуреев А.В., Кустов В.А.* Волноводная модель беспроводных каналов связи внутри зданий // Электронный научный журнал «Исследовано в России». №135. С. 1519-1536, 2002. 5. *Стрельницкий А.А., Стрельницкий А.Е., Цона А.И., Шокало В.М.* Вариант модели расчета затухания широкополосного сигнала в радиолинии локальной сети связи (модель ХНУРЭ Wi-Fi) // Сб. тез. докл. 17 Междунар. Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (CriMiCo'2007). Севастополь: СНТУ, 2007. Том. 1. С. 213-214. 6. *Гостев В.И., Конин В.В., Маценура А.Л.* Линейные многоканальные устройства сверхвысоких частот. К.: Радиоаматор, 1997. 315 с. 7. *WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение* / Под ред. В.В. Крылова. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 368 с. 8. *D. Porrat and D. C. Cox* A Waveguide Model for UHF Propagation in Streets // The 11th Virginia Tech/MPRG Symposium on Wireless Personal Communications, June 6-8, 2001, Blacksburg, Virginia.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 15.09.2007