

Пашинцев Владимир Петрович, д.т.н., профессор Кафедры информационной безопасности автоматизированных систем Института информационных технологий и телекоммуникаций Северо-Кавказского федерального университета (г. Ставрополь). Тел. (8-865) 295-69-97. E-mail: pashintsevp@mail.ru

Старовойт Иван Александрович, к.т.н., старший преподаватель Кафедры ИСТ БелГУ. Тел. (8-472) 230-13-00. E-mail: ustarovoit@bsu.edu.ru

Ушаков Дмитрий Игоревич, к.т.н., старший преподаватель Кафедры ИСТ БелГУ. Тел. (8-472) 230-13-00. E-mail: ushakov_d@bsu.edu.ru

УДК621.396.721; 621.396.67

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОПОКРЫТИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ WLAN

Белицкий А.М.

Рассмотрены основные способы обеспечения радиопокрытия (РП) при развертывании сетей WLAN на объектах со сложным составом и рельефом. Обсуждены подходы к выбору оптимальных комбинированных вариантов обеспечения РП.

Ключевые слова: радиодоступ, корпоративная сеть, радиопокрытие, зоны затенения, комбинированные методы.

Введение

Локальные беспроводные сети широкополосного доступа (Wireless Local Area Network – WLAN) находят все более широкое применение в практике построения корпоративных систем связи и управления [1]. Сеть WLAN как составная часть упомянутых систем выполняет функции сети доступа в Internet общего назначения, либо промышленной сети обмена телеметрической информацией, либо ведомственной сети обмена служебной информацией, а чаще всего – совмещает все перечисленные функции [2].

«Локальным» (Local Area) уровень подобной корпоративной сети является лишь относительно, так как область локализации оборудования сети определяется особенностями объекта. Для сложных объектов эта область достаточно обширна и включает:

- места постоянного и временного размещения персонала, производственного, лабораторного (испытательного) и офисного оборудования, средств охраны и сигнализации, места складирования материалов, сырья и готовой продукции и т.п., то есть значительное число зданий, сооружений и точечных объектов различных типов и конфигураций;

- корпоративную транспортную инфраструктуру и входящие в нее подвижные средства (строительная техника, внутривозовской авто- и электротранспорт и др.);

- окружающую (прилегающую) местность и передвигающиеся по ней в автотранспорте и пешим порядком пользователи корпоративной сети.

Таким образом, сложный объект развертывания корпоративной сети WLAN в общем случае содержит:

- открытые участки местности, для которых РП может осуществляться средствами типовой базовой станции (БС) в пределах ее радиуса действия (внутриобъектовые и прилегающие территории, внутриобъектовые и прилегающие автодороги, помещения в зданиях со слабым экранированием);

- участки с существенным экранированием (помещения в зданиях со значительной плотностью проводящих несущих и ограждающих конструкций, помещения с высокой плотностью крупногабаритного оборудования, полуподвальные помещения и др.);

- участки с сильным экранированием (подземные помещения, помещения со сплошными ограждающими металлоконструкциями, транспортные тоннели и др.).

Номенклатура абонентских (терминальных) устройств сети может включать:

- стационарные терминальные устройства (персональные компьютеры, универсальные и специализированные терминалы, технологические контроллеры, WEB-камеры, датчики и контроллеры охранной и пожарной сигнализации, средства оповещения и т.п.). Эти терминалы по классификации [3] относятся к неподвижным абонентским устройствам (fixed wireless);

- портативные абонентские устройства (планшеты, смартфоны и т.п.), которые могут передвигаться со скоростью до 5 км/ч, что соответствует «полумобильному» доступу [3] (portable, nomadic);

- мобильные абонентские устройства (универсальные и специализированные терминалы, установленные на транспортных средствах и иных мобильных объектах, абонентские устройства пассажиров автотранспорта и т.п.), которые могут передвигаться вместе с абонентом на транспортных средствах со скоростью до 120 км/ч. Это соответствует «мобильному» варианту (mobile) [3].

Очевидно, что универсального решения по обеспечению РП для подобного сложного объекта в связи с многообразием условий размещения оборудования, распространения радиоволн и т.д. не существует. Для различных типов участков должны применяться разные способы и средства, поэтому оптимальный (или близкий к оптимальному) вариант должен представлять собой некое комбинированное решение.

Целью настоящей работы является анализ основных вариантов обеспечения РП и обоснование подходов к выбору оптимальных комбинированных вариантов.

Способы обеспечения РП

Рассматривая вопрос о способах обеспечения РП, мы в данном случае не будем конкретизировать используемый стандарт широкополосного беспроводного доступа [1-5], поскольку во всех случаях имеют место сходные проблемы и решения.

Следует отметить одно важное обстоятельство, которое обязательно должно учитываться при разработке решений по РП корпоративного объекта. Дело в том, что обычно при расчете трасс уровнем промышленных помех в диапазонах, выделенных для широкополосного радиодоступа, удается пренебречь, так как даже в условиях мегаполиса соответствующий типичный уровень напряженности электрического поля для этих диапазонов не превосходит 0,1 мкВ/м [6].

Однако для корпоративного объекта ситуация может в корне измениться, если в непосредственной близости от оборудования сети WLAN располагается производственное или иное оборудование, являющееся источником помех в диапазоне рабочих частот сети. Поэтому при расчете дальности радиосвязи [7-8] необходимо исходить из реальной помеховой обстановки в конкретной точке (зоне) объекта и требуемые напряженности поля полезного сигнала определять с учетом обеспечения заданного отношения «сигнал/шум» (SNR), которое в большинстве случаев [3-5] должно быть не менее 20...24 дБ. Напомним, что в большинстве случаев ограничение, связанное с недостаточным уровнем полезного сигнала, воз-

никает в направлении от терминального устройства к базовому («up-link»).

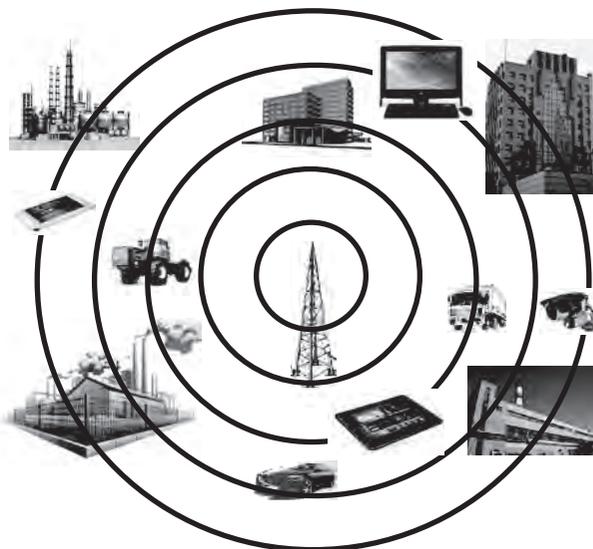


Рис. 1. РП сложного объекта БС с всенаправленной антенной

Рассмотрим в укрупненном виде основные варианты обеспечения РП.

1. Базовая станция (БС) с всенаправленной антенной (см. рис. 1) формирует круговую зону обслуживания. В пределах радиуса зоны уверенного приема обеспечивается радиодоступ для стационарных и мобильных терминальных устройств, расположенных на открытой местности или на участках со слабым экранированием. Участки с существенным (а тем более сильным) экранированием оказываются вне радиодоступа. Для них возможно решение, рассмотренное ниже, с ретрансляцией сигналов и их распределением через сеть точек доступа (роутеров).

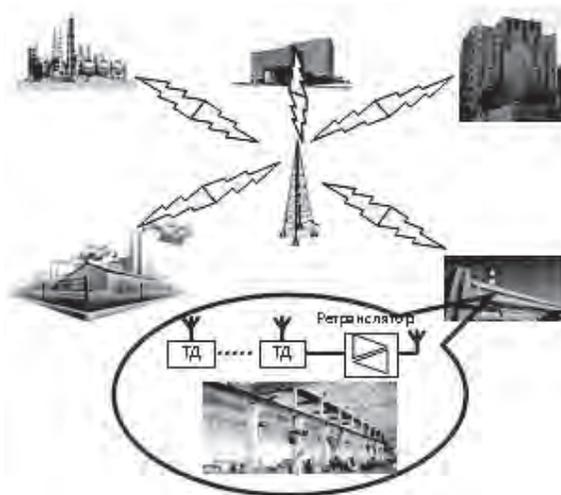


Рис. 2. РП сложного объекта по схеме точка-многоточка с использованием направленных антенн и подачей сигнала через сеть точек доступа

2. БС с системой направленных антенн и приемо-передающие ретрансляторы с направленными антеннами, реализующие статичную структуру «точка-многоточка», с последующей подачей сигнала через сеть точек доступа ТД – см. рис. 2, представляют собой весьма распространенное решение. Все необходимые для его реализации компоненты широко представлены на рынке телекоммуникационной продукции [9]. Использование направленных антенн позволяет при той же пространственной геометрии сети существенно снизить (по сравнению с вариантом на рис. 1) выходную мощность передатчиков. Однако и этот вариант далеко не универсален. В частности, он не обеспечивает связь с мобильными абонентами, а внутренняя (indoor) структура в виде набора точек доступа не слишком удобна для протяженных экранированных зон (сооружений), особенно при наличии в них мобильных абонентов.

3. Проблема обеспечения радиодоступа для мобильных абонентов, в принципе, может быть решена за счет использования адаптивных («smart») антенн БС [10] с секторными ДН и функцией оперативного автоматического сопровождения подвижного абонента по азимуту (см. рис. 3).

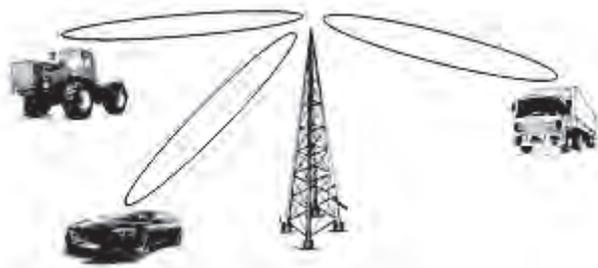


Рис. 3. Использование адаптивных («smart») антенн для предоставления радиодоступа подвижным абонентам

К сожалению, подобная структура реализуема лишь при относительно небольшом количестве одновременно обслуживаемых мобильных абонентов. Кроме того, в отличие от удаляющегося от БС абонента, сопровождение которого лучом возможно вплоть до предельной дальности, для абонента, приближающегося к объекту, захват на максимальных дальностях и последующее сопровождение, вообще говоря, крайне проблематичны, если БС «не знает», где его искать.

Однако в частном случае, когда к объекту ведет небольшое количество автодорог, по которым только и могут двигаться абоненты, может быть

реализован режим «ожидания» с ориентацией лучей ДН в соответствующих направлениях.

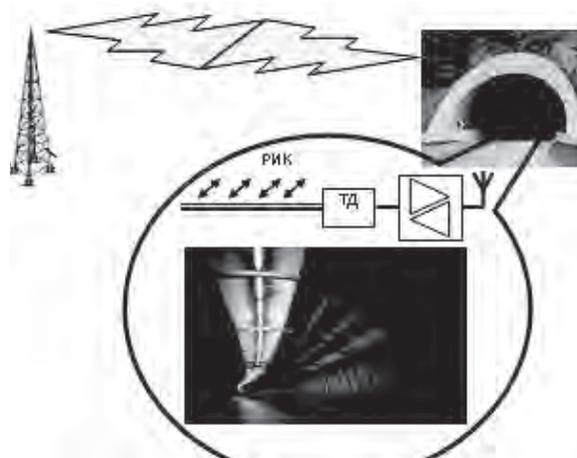


Рис. 4. Формирование зоны доступа в сильно экранированном сооружении с помощью радиоизлучающего кабеля

Следует отметить, что значительный интерес представляет вариант с использованием адаптивных антенн в составе оборудования мобильного объекта [10], что позволит существенно расширить зону радиодоступа для мобильных абонентов, в том числе – при круговой зоне обслуживания.

4. Перспективным вариантом обеспечения РП в зонах сильного затенения является хорошо зарекомендовавший себя в ряде других случаев вариант построения излучающей системы на основе излучающего кабеля (см. рис. 4). При этом целесообразно построение сети, при котором одна БС обслуживает как зону сильного экранирования, так и прилегающее открытое пространство [11].

Комплекс с комбинированной излучающей системой

Рассмотрим подробнее подобный вариант для БС со двоянным приемом и 100%-ым резервированием [11]. В этом случае (рис. 5) приемо-передающие (ПП) и приемные (П) входы БС (основной и резервной) подключены к устройству объединения и разделения сигналов (УОРС) через приемо-передающие усилители (ППУ), которые обеспечивают усиление передаваемого и принимаемого сигналов.

УОРС обеспечивает передачу и двоянный прием сигналов как через антенную систему, так и посредством установленных в зоне затенения отрезков излучающего кабеля (приемо-передающего и приемного). В состав УОРС входят неравноплечие (вообще говоря) развязанные де-

лители-сумматоры мощности с необходимыми коэффициентами деления, выполненные на основе направленных ответвителей с электромагнитной связью. Необходимые коэффициенты деления определяются конкретными требованиями к системе (какая часть мощности ответвляется в антенны, а какая – в излучающие кабели) и устанавливаются по результатам расчетов. Отметим, что мощность, ответвляемая в излучающий кабель, зависит от длины (потерь) соединительных и излучающих кабелей и конкретных условий размещения РК.

Направленные ответвители выполняются по тонкопленочной технологии СВЧ-микросхем. Каждый из двух ППУ, включенных между БС и УОРС, содержит два усилительных тракта: двунаправленный приемно-передающий и приемный. В приемно-передающем тракте имеются усилитель мощности (усиливает сигнал «downlink» в направлении УОРС), малозумящий антенный усилитель (усиливает сигнал «uplink» в направлении БС) и два дуплексных антенных разделителя. В приемном тракте имеется малозумящий антенный усилитель, аналогичный примененному в приемно-передающем тракте, с дополнительным режекторным фильтром, настроенным на подавление частот передачи. Усилители выполняются на основе СВЧ-транзисторов и микросхем. Необходимые коэффициенты передачи усилителей определяются по результатам расчетов, исходя из конкретных требований и условий размещения данной системы.

Аналогичную по назначению структуру для локального участка можно реализовать и в сочетании с подачей сигнала от БС по схеме рис. 1 или рис. 2. Фрагмент такой структуры приведен на рис. 6. Антенны на входе антенно-усилительного комплекса – направленные. Ретранслятор содержит два ППУ, обеспечивающих работу основного и резервного каналов, а также приемно-передающих и приемных антенн основного и резервного каналов. Приемно-передающие и приемные антенны могут иметь различную поляризацию (сдвоенный прием с поляризационным разнесением). Остальная часть комплекса аналогична приведенной на рис. 5.

ППУ в составе ретранслятора по структуре близки к ППУ, включенным между БС и УОРС на рис. 5. И в этом случае имеются два усилительных тракта: двунаправленный приемно-передающий и приемный. В приемно-передающем тракте присутствуют усилитель мощности (усиливает сигнал в направлении приемно-передающей антенны), малозумящий антенный усилитель (усиливает принятый приемно-передающей антенной сигнал в направлении УОРС) и два дуплексных антенных разделителя. В приемном тракте имеется малозумящий антенный усилитель, аналогичный примененному в приемно-передающем тракте, с дополнительным режекторным фильтром, настроенным на подавление частот передачи. Дуплексные антенные разделители, как и в предыдущем случае, выполнены по фильтровой схеме на основе режекторно-полосовых филь-

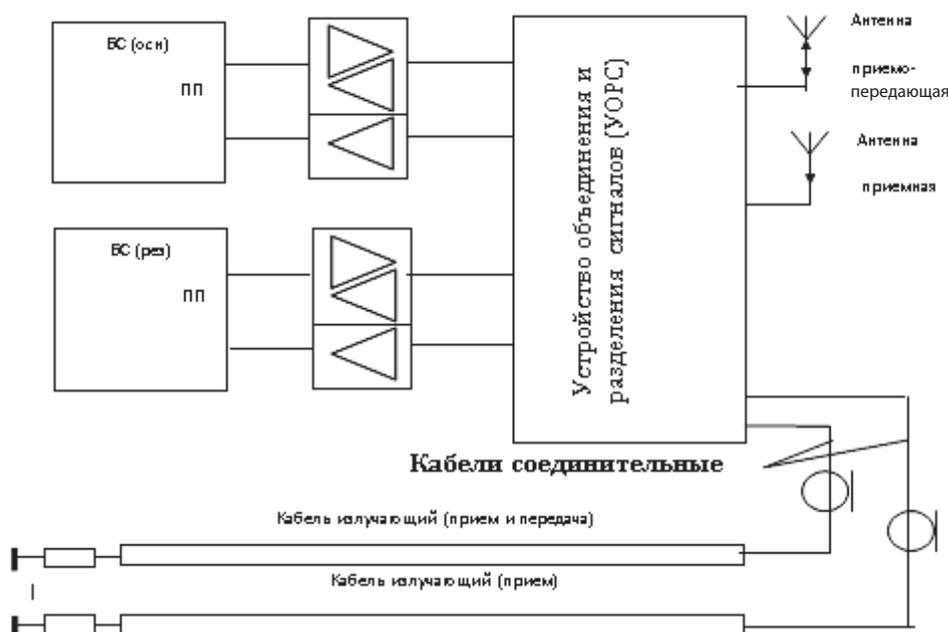


Рис. 5. Структура антенно-усилительного комплекса, обеспечивающего РП на открытом пространстве и в зонах затенения на основе использования излучающего кабеля

тров; режекторно-полосовые и режекторные фильтры в составе ППУ выполнены на микрополосковых резонаторах по тонкопленочной технологии СВЧ-микросхем.

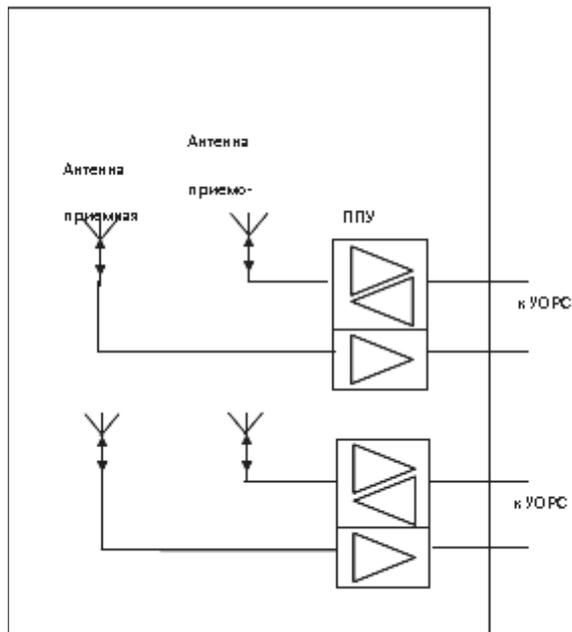


Рис. 6. Вариант реализации антенно-усилительного комплекса с использованием ретрансляции эфирного сигнала

Уровни усиливаемых сигналов и уровни выходной мощности здесь существенно отличаются от ППУ, работающих между БС и УОРС на рис. 5, поэтому при сходности основных схемотехнических и конструктивно-технологических решений усилителей и фильтров конкретные параметры

(толщина и материал подложки микрополосковых плат, типы применяемых комплектующих изделий, номиналы элементов) могут быть несколько иными. Необходимые коэффициенты передачи усилителей, как и в предыдущем случае, определяются исходя из конкретных условий размещения данной системы.

Несмотря на относительно большую (два кабеля вместо одного) стоимость, вариант со сдвоенным приемом за счет использования приемопередающего и приемного кабелей (см. рис. 5) может быть рекомендован, поскольку существенно повышает качество связи. В качестве примера на рис. 7 приведены результаты расчетной оценки относительной эффективности сдвоенного приема [11]: видно, что при прочих равных условиях относительные «провалы» уровня сигнала при использовании сдвоенного приема с автовыбором (штриховая кривая на рис. 7) не превышают -9 дБ, в то время как без сдвоенного приема они достигают -23 дБ.

Имеющаяся номенклатура радиоизлучающих кабелей, пригодных для реализации широкополосного радиодоступа в экранированных сооружениях, достаточно широка. Из таблицы 1, где в качестве примера приведены основные характеристики для двух распространенных типов кабелей [12-13], следует, что радиоизлучающие кабели сечением $1\ 1/4 \dots 1\ 5/8$ дюйма имеют и на частотах $2,4$ ГГц вполне приемлемое погонное затухание для реализации РП в протяженных экранированных сооружениях при длине одного участка до нескольких сотен метров, что для се-

Таблица 1. Основные характеристики радиоизлучающих кабелей

Тип радиоизлучающего кабеля (изготовитель)	Особенности конструкции	Марка	Погонное затухание* дБ/100м (2,4 ГГц)	Коэффициент связи* дБ (2,4 ГГц)	
				по уровню 50%	
RFX xxx -50 (Draka NK Cables, Финляндия)	Щелевая перфорация экрана	RFX 1/2"-50	14,2	83	RFX xxx -50 (Draka NK Cables, Финляндия)
		RFX 7/8"-50	7,5	79	
		RFX 1 1/4"-50	6,2	79	
		RFX 1 5/8"-50	5,4	76	
nu-TRAC TRC-xxx (Times Microwave Systems, США)	Триаксиал	TRC-1250	7,9	79	nu-TRAC TRC-xxx (Times Microwave Systems, США)

* Методики измерений согласно IEC 61196-4

тей WLAN представляется вполне достаточным. При большей протяженности объекта может быть использована ретрансляция.

$U_1, U_2, \text{ дБ}$

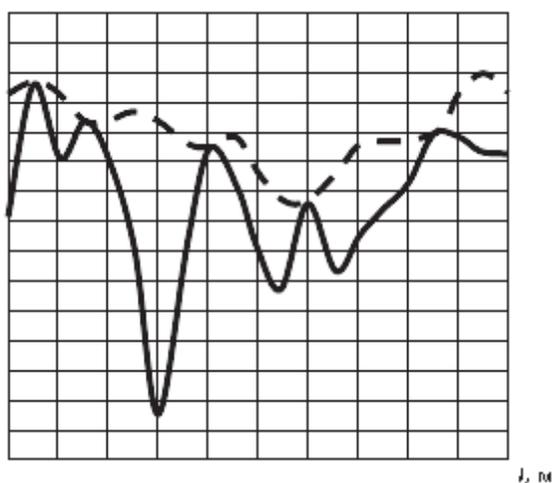


Рис. 7. Результаты оценки относительной эффективности двоякого приема

Выводы

Проведенный анализ подтвердил первоначальное предположение о необходимости использования комбинированных вариантов обеспечения РП при создании сетей WLAN для сложных объектов. Обоснована перспективность комплексов с комбинированной излучающей системой (антенна + кабель) для объектов, содержащих как открытые участки, так и локальные зоны с сильным экранированием. Применение таких комплексов расширяет возможности по выбору варианта, представляющего собой сочетание различных решений по обеспечению РП и в максимальной мере учитывающего специфику объекта.

Литература

1. Аджемов С.С., Урядников Ю.Ф. Технологии широкополосного доступа: динамика и перспективы развития // Электросвязь. №1, 2011. – С.19-23.
2. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспровод-

ные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

3. Богомолова Н.Ю., Усманов П.Ю. Особенности построения сетей широкополосного доступа формата WiMAX // Спецтехника и связь. №3, 2009. – С.52-56.
4. IEEE Std 802.11™-2012. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
5. Вишнеvский В.М., Красилов А.Н., Шахнович И.В. Технология сотовой связи LTE – почти 4G // Электроника: наука, технология, бизнес. – №1, 2009. – С.62-72.
6. Помехи на прием // http://136.73.ru/r_noise/
7. Калинин А.И., Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. М.: Связь, 1971. – 202 с.
8. Попов А.С. Применение методов Окамура-Хата и Введенского для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков // Доклады ТУСУРа. № 2 (22), 2010. – С.176.
9. Motorola Solutions: Беспроводные ЛВС // <http://www.motorolasolutions.com/RU-RU/Business+Product+and+Services/Wireless+LAN>
10. Парнес М.Д. Смарт-антенны в системе WiMAX // Беспроводные технологии. №2, 2007. – С.48-50.
11. Красильников А.Д. Антенно-усилительные комплексы для радиосвязи с использованием излучающих кабелей // Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот. №1 (37), 2003. – С.115-120.
12. Mobile Network Cables: Draka NK Cables Catalogue // http://www.draka.fi/draka/Countries/Dra-ka_Finland/Languages/English/Resources/PDF_Files/MNC_katalogi_korjattu_21.2.2006.pdf
13. Nu-TRAC TRC-1250 triaxial antenna cable // <http://www.timesmicrowave.com/downloads/products/trc1250.pdf>

THE WAYS OF COVERAGE PROVIDING AT CREATION OF CORPORATE WLAN NET

Belitskiy A.M.

The main ways of ensuring coverage are discussed when deploying WLAN at objects of a complex structure and topography. Grounded approaches to choosing the best combination of options to ensure coverage.

Keywords: corporate network, radio coverage, shading zones, combined methods.

Белицкий Александр Михайлович, контрактный военнослужащий, г. Москва. Тел. (8-495) 693-62-99. E-mail: 040358@mail.ru