

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В ТОННЕЛЯХ И ПОМЕЩЕНИЯХ

© 2017 С. М. Толстых, А. Г. Юрочкин, В. В. Авдеев

*Российская академия народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации (г. Воронеж, Россия)  
Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж, Россия)  
Российский новый университет (г. Москва, Россия)*

*В данной статье рассматриваются особенности распространения радиоволн связи в замкнутых пространствах – помещениях и тоннелях. Обсуждаются возможные причины затухания сигналов.*

*Ключевые слова: распространение радиоволн, беспроводная связь, тоннель, помещение.*

При решении задач, связанных с построением высокопроизводительных беспроводных систем связи во внутренних областях тоннелей многими исследователями проводились измерения и многочисленные моделирования распространения волн за последние несколько десятилетий.

Базируясь на разных подходах, например, связанных с векторными уравнениями параболического типа, геометрической оптикой (ГО), модальном анализе, конечными разностями во временной области (FDTD) и др., все большее число ученых приходят к анализу характеристик радиоволн в разных областях, например, во внутренних областях тоннелей.

Определенная систематизация по соответствующему подходу в определенной мере создается, но на настоящий момент нельзя говорить о едином мнении относительно того, каким образом происходит деление по зонам и какой из механизмов моделирования процессов распространения радиоволн в определенной зоне следует применять.

В целом, для того, чтобы проводить описание распространения электромагнитных волн во внутренних областях тоннелей, многие из моделей представляются в рамках двухлучевого подхода, так, что потери будут описываться на основе двух различных выражений.

Для таких моделей существуют точки деления (их рассматривают в виде точек разрыва) между двух склонов, при их помощи происходит разделение всего процесса по двум сегментам.

С точки зрения перспективы распространения механизмов, относительно ближних и дальних зон, можно говорить о большом разрыве среди различных взглядов ученых.

В определенной мере есть возможности для выделения трех механизмов распространения в области ближней зоны и двух механизмов распространения в области дальней зоны, которые приводятся в разных классических трудах.

При проведении анализа можно отметить, что для каждого метода существуют определенные преимущества, но каждый ученый может полагать, что именно его точка зрения является правильной.

В результате можно столкнуться с путаницей в беспроводных сетях, когда планируется система коммуникаций во внутренней области тоннелей, поскольку выбор разных механизмов обуславливает соответствующие потери.

Однако при этом, мы можем достичь некоторого обобщения таких комплексных вариантов:

1. Для внутренней области одной зоны, где распространяется электромагнитная волна, следует применять только одну из математических моделей, иначе необходимо проводить ее разделение по двум или более зонам, это зависит от того, какое число механизмов распространения радиоволн относительно них было выделено.

---

Толстых Светлана Михайловна – ВИБТ-АНОО ВО, студент, pertsevole@yandex.ru.

Юрочкин Анатолий Геннадьевич – Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, д. т. н., профессор, rk@vtn.ranepa.ru.

Авдеев Владимир Владимирович – Российский новый университет, студент, rozhkalina@yandex.ru.

Поэтому, в классической структуре, которая рассматривает лишь ближнюю и дальнюю зону, нет возможностей для того, чтобы охватить все механизмы распространения радиоволн, в новых зонах необходимо осуществлять дополнение.

2. Идея описания ближней зоны состоит в том, что происходит блокировка по линиям прямой видимости или в первой зоне Френеля, которая будет находиться между передатчиком и приемником.

Поэтому подобный эффект явным образом можно наблюдать тогда, когда пользователь будет располагаться на довольно больших расстояниях, это могут быть длинные поезда в тоннелях метро, но он не будет возникать тогда, когда пользователи будут достаточно малы, если сравнивать с тоннелем.

В результате, важно анализировать соотношение между размером пользователей и размерами тоннеля.

Условия того, каким образом осуществляется распространения радиоволн в помещениях и тоннелях – более сложные, чем, распространения радиоволн в области свободного пространства.

Прежде всего, существуют стены и массивные предметы, находящиеся внутри. Если материал стены и перекрытий – дерево, синтетические материалы, стекло, то это будет слабым образом влиять на то, каким образом распространяются радиоволны. Если материал препятствий – кирпич, бетон, то затухание будет средним; а в случае, если есть железобетон и стены, имеющие фольговые утеплители, затухание будет высоким.

Можно говорить о высоком влиянии металлических стен и перекрытий на значение дальности, это может привести к тому, что будет полностью невозможна связь.

Различным может быть влияние на характеристики распространения радиоволн некапитальных гипсокартонных стен, затухание может быть как низким, так и весьма высоким, это определяется конструкцией решетки, на базе которой строится стена, в некоторых случаях затухание может изменяться в зависимости от того, как изменяется влажность во внутренней области помещения.

Помимо этого, интерференционный характер электромагнитных полей во внутренней области помещений (вследствие того, что есть многократные отражения от объектов) выражается более резким образом.

Такую картину можно увидеть, поскольку уменьшается напряженность поля и

изменяется исходная плоскость поляризации волн.

Во многих помещениях можно увидеть так называемые «мертвые зоны», внутри них прием сигналов будет существенным образом затруднен.

С подобной ситуацией можно столкнуться, даже если передающее и приемное устройства располагаются в прямой видимости.

Механизм образования «мертвых зон» связан с тем, что сигналы идут по путям, имеющим разную длину, они отражаются от металлических объектов, они могут быть стальными конструкциями, бетонными стенами, металлическими дверями, окнами, потолками и др.

«Мертвая зона» возникает, если происходит эффективное расхождение длины путей, по которым идет распространение, по нечетному количеству полуволн.

Можно говорить об «абсолютно мертвых зонах», которые, как правило, будут очень локальными, их можно устранить за счет небольшого перемещения антенных устройств в приемнике или передатчике.

В итоге, на то, какая дальность функционирования оказывает влияние большое число физических факторов: количество стен, перекрытия и другие объекты, через которые планируется прохождение сигнала, существует радиочастотный шум, возбуждаемый другими устройствами.

Помимо этого, значение уровня сигнала, который принимается антенной внутри здания или рядом с ним, будет меняться с течением времени вследствие движения объектов (открываются двери и др.) на том пути, по которому распространяются радиоволны.

Таким образом, в данной работе проведен анализ основных особенностей, связанных с распространением радиоволн внутри тоннелей и помещений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lvovich I. The possibilities of improvement wireless coverage inside buildings / I. Lvovich, A. Preobrazhensky // Information Technology Applications. – 2015. – № 1. – С. 124-130.

2. Stefanovic J. The technique of calculation the parameters of the electromagnetic the fields scattered by the body with complex form in the near zone / J. Stefanovic, E. Ruzitsky // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2 (17). – С. 7.

3. Алешкина Е. В. Моделирование рассеяния радиоволн на структурах с поглощающим слоем / Е. В. Алешкина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 1 (16). – С. 15.
4. Алимбеков А. Р. Интеграция ГИС и САПР в беспроводных системах связи / А. Р. Алимбеков, Е. А. Авдеенко, В. В. Шевелев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 1 (16). – С. 12.
5. Алимбеков А. Р. Моделирование рассеяния радиоволн сотовых систем связи на элементах зданий / А. Р. Алимбеков, Е. А. Авдеенко, В. В. Шевелев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 1 (16). – С. 14.
6. Воронов А. А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности / А. А. Воронов, И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. А. Воронов // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. – № 2. – С. 8-11.
7. Костюченко В. В. Моделирование рассеяния электромагнитных импульсов на поверхности составного импедансного цилиндра / В. В. Костюченко, В. Н. Кострова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2 (17). – С. 2.
8. Львович Я. Е. Исследование метода трассировки лучей при проектировании беспроводных систем связи / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, А. П. Преображенский, С. О. Головинов // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 40-42.
9. Преображенский А. П. Задачи оценки электромагнитной обстановки в тоннелях / А. П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2015. – № 3 (10). – С. 16.
10. Преображенский А. П. Проблемы оценки электромагнитной обстановки в помещениях / А. П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2015. – № 2 (9). – С. 21.
11. Чопоров О. Н. Анализ затухания радиоволн беспроводной связи внутри зданий на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных / О. Н. Чопоров, А. П. Преображенский, А. А. Хромых // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 584-587.

## WAVE PROPAGATION WIRELESS COMMUNICATIONS IN TUNNELS AND BUILDINGS

© 2017 S. M. Tolstyh, A. G. Yurochkin, V. V. Avdeev

*Russian Academy of national economy and public administration the President  
of the Russian Federation (Voronezh, Russia)  
Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)  
Russian new university (Moscow, Russia)*

*This paper discusses the features of the propagation of communication in confined spaces – buildings and tunnels. The possible causes signal attenuation are discussed.*

*Key words: radio wave propagation, wireless communication, a tunnel, a room.*