

УДК 621.396

Д.П. Комаристый, Ю.С. Сахаров  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В  
БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ  
ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВ**

*ОАО концерн «Созвездие», Воронеж, Россия  
Университет Дубна, Дубна, Московская обл., Россия*

*Актуальность исследования обусловлена тем, что в современных условиях наблюдается повсеместное использование беспроводных сетей. При проектировании беспроводных сетей большая роль отводится этапу моделирования, в который входит проведение расчетов по основным параметрам системы беспроводного доступа. В связи с этим, данная статья направлена на выявление возможностей использования соответствующих подходов при моделировании распространении радиосигналов в помещениях, и на определение возможных ошибок в расчетах. Ведущим подходом к исследованию данной проблемы является использование метода трассировки лучей, позволяющем учитывать различную геометрию помещений и материалов, располагаемых внутри объектов. В статье представлены результаты моделирования в программе Wireless InSite. Материалы статьи представляют практическую ценность для специалистов, связанных с проектированием беспроводных сетей внутри помещений.*

**Ключевые слова:** связь, моделирование, беспроводные сети, алгоритм, помещение.

**Введение.** Среди сетевых технологий, как наиболее бурно развивающуюся область, можно выделить беспроводные системы связи [1-3]. Несмотря на сравнительно небольшой срок эксплуатации на основе принятых стандартов, регламентирующих беспроводную передачу данных, сети подобного рода активно развиваются. Помимо экономичности и простоты установки, беспроводные системы связи предоставляют принципиально недоступный кабельным сетям сервис в виде мобильного доступа.

Построение систем беспроводной доступа включает в себя последовательность этапов, начиная от написания технического задания с указанием местности, где будет использоваться система, и заканчивая пуском в эксплуатацию.

При этом большое значение имеет этап моделирования [4, 5], который включает расчет основных параметров системы беспроводного доступа, таких как зона обслуживания, качество сигнала и т.п. Это связано с тем, что процесс проектирования является трудоемким и дорогостоящим, поэтому использование разного рода средств моделирования позволяет избежать ошибок, которые могут появиться при эксплуатации систем беспроводного доступа, а также оптимальное расположение точек доступа.

Провести подобную разработку возможно при помощи систем автоматизированного проектирования беспроводных систем связи. Использование таких систем позволяет проводить частотно-территориальное планирование сети, обеспечивающее минимизацию внутрисистемных помех, максимальный охват территории с требуемым качеством передачи информации и электромагнитную совместимость с существующими радиотехническими средствами; верификацию характеристик действующей сети; оптимизации методов преобразования и передачи информации проектируемой сети; оптимизацию параметров оборудования, предназначенного для работы в данной сети. Особая необходимость в автоматизации проектирования беспроводных систем связи возникает в условиях распространения радиоволн внутри зданий и помещений последнее время уделяется большое внимание. Это связано, прежде всего, с созданием локальных информационных сетей, а также с необходимостью обеспечения надежной радиосвязью сотрудников предприятий, учреждений с целью оперативного управления и обеспечения безопасности. Наличие внутри здания стен, перегородок, мебели, радиоэлектронной аппаратуры, людей и других объектов создает сложную среду распространения радиоволн [6,7]. Условия распространения радиоволн внутри помещений существенно отличаются от условий распространения радиоволн в свободном пространстве. Основными эффектами, наблюдаемыми при распространении радиоволн внутри помещений, являются многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых краях предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн. Эти эффекты создают сложную интерференционную структуру электромагнитного поля, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов. Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью создания методик, позволяющих анализировать процессы распространения электромагнитных волн в условиях замкнутых пространств.

**Целью** работы является моделирование распространения электромагнитных волн в беспроводных системах связи на основе волноводного подхода.

**Модель для распространения радиоволн в крупных зданиях.** Эта модель основывается на знании внутренней структуры здания, не требуется большого количества деталей, направляется излучение вдоль коридоров, что является наиболее значимым процессом распространения на расстояние более 10 м от передатчика. Модель волновода предсказывает скорость потери мощности вдоль коридоров, которые влияют на связи между распространяющихся мод. Результаты для стен с шероховатой поверхностью в строительстве, прогнозируется следующим

способом, используя среднее отклонение стен от идеальной гладкости. Модели предсказания сравниваются для измерений в офисном здании и предсказания трассировки лучей.

Понимание распространения беспроводных систем в помещении играет важную роль в проектировании и компоновке мобильных данных и голосовых систем. Модель должна обеспечивать способность проникновения в суть механизма распространения. В дополнение к прогнозированию уровней мощности по всему зданию. Современные модели распространения в УВЧ диапазоне (300 МГц-3 ГГц) на основе трассировки лучей, с сильными дифракционными эффектами или на эмпирических законах расстояния мощности. Трассировка лучей обеспечивает приемлемую точность прогнозирования уровней мощности, когда вся информация по геометрии и материалам здания доступна. Данный метод менее полезен при общей картине распространения, или когда геометрия здания предоставляется без большого количества деталей [8, 9].

Измерения показывают, что, несмотря на относительную прозрачность стеновых материалов, руководство прихожей является наиболее значимым механизмом распространения на средних и больших расстояниях от источника (начиная с радиусом около 10 м). Волновые модели были предложены для прихожих, но эти модели предполагают идеально ровные стены. В этой работе мы предлагаем более сложную модель, которая учитывает взаимосвязь между волновыми моделями, вызванные неровностями стен. Мы исследуем влияние стен на уровни мощности в здании, в коридорах и соседних номерах. Наша модель дает представление о часто наблюдаемых явлениях, в частности эффект коридора развязок на уровнях измеряемой мощности.

Преимущество волновой модели подхода по сравнению с существующими методами (а именно трассировкой лучей), в том, что можно наблюдать общую картину уровней мощности на большой площади с небольшими вычислениями и требованиями к базе данных.

Модель требует подробную информацию об окружающей среде, и предоставляет точные прогнозы основных явлений. Входные параметры, используются в модели очень редко, и описывают конструкции стен в среднем; геометрическое описание простое. Предсказание уровней мощности является точным, в частности, уровни предсказания прихожей возле перекрестка. В отличие от трассировки лучей требуется подробная информация о среде в целях получения сопоставимых прогнозов. Трассировка лучей в отличии от алгоритмов гораздо сложнее и требует больше ресурсов компьютера, чем в волноводной модели.

**Алгоритм расчета волновода с шероховатостями.** Для того, чтобы смоделировать реальные поверхности стен, мы должны принимать во

внимание их шероховатости. Проведем анализ для случая, когда стены волновода не являются гладкими.

Мы описываем поля волновода с точки зрения модальных полей гладкой поверхности и используем модифицированное волновое уравнение для расчета связи между режимами. Исходим из предположений, что расстояние на которых характеристики процесса заметным образом изменяются связывания значительно больше, чем длина волны. Стенку волновода можно представить в виде разложения по линейным участкам.

Для того, чтобы рассмотреть установившийся режим в решениях, нам необходимо рассматривать только первое наименьшее собственное значение, которая описывает медленное снижение уровня мощности по мере увеличения расстояния от источника.

Стационарное решение меняется с расстоянием вдоль волновода, но только с на основе экспоненциального закона.

Введение третьего пространственного измерения в нашу модель волновода определяет дополнительные усложнения, в этой связи нами был использован приближенный подход [10,11]. Пол и потолок, представлены в виде гладких идеально проводящих поверхностей. Таким образом, их влияние может быть рассмотрено отдельно от влияния стен. Пол и потолок определяются в зависимости от компонента поля и направления распространения электромагнитной волны.

#### **Алгоритм оценки уровня электромагнитного поля в помещении.**

1. Вводятся исходные данные: размеры помещения, координаты источника и приемника.

2. Проводится расчет уровня электромагнитного поля при распространении в свободном пространстве до пересечения со стеной.

3. Происходит процесс отражения электромагнитной волны от стены.

4. Шаги 2-3 повторяются, пока луч не достигнет цели.

5. Происходит определение уровня электромагнитного поля в точке наблюдения (на приемнике).

**Описание программного продукта.** Расчет и моделирование распространения радиоволн в условиях замкнутого пространства проводилось с помощью программы Wireless InSite [12]. Качество связи зависит от многих параметров, таких как усиление передающей и принимающей антенн, мощности передатчика, и коэффициента шума приемника. Все эти параметры находятся под контролем проектировщика системы и могут быть изменены, чтобы оптимизировать систему.

Геометрия стен приведена на Рисунке 1. Размеры даны в метрах.

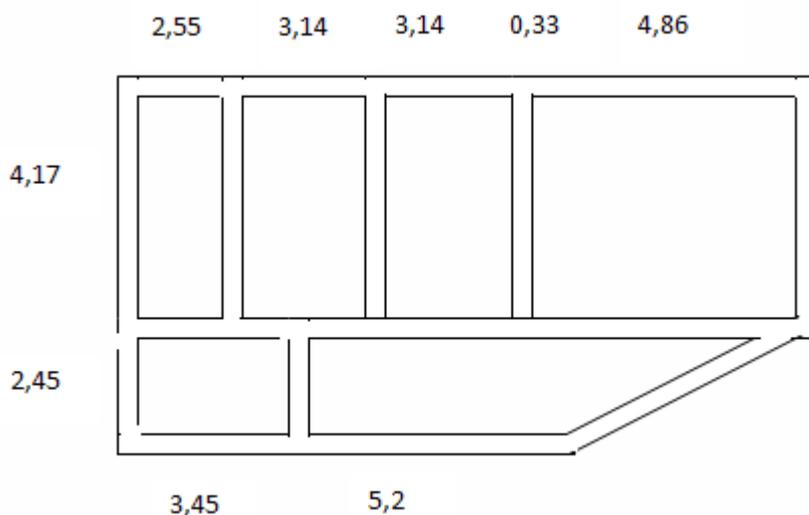


Рисунок 1 – Геометрия стен и материалов

Чтобы начать расчет в программе Wireless InSite, мы нажимаем новый project>Project>New>Project. Затем мы добавляем поэтажный план, как Project>New>Feature>Floor Plan. плана этажа.

С пола высоте 0 метров и высотой потолков 3 метра, план этажа открываем окно редактора. Сначала мы определяем необходимые типы стены в Wireless insite информация на Рисунке 1, используя различные цвета, чтобы различать материал стен. Спецификация для толстых железобетонных стен показана на Рисунке 2.

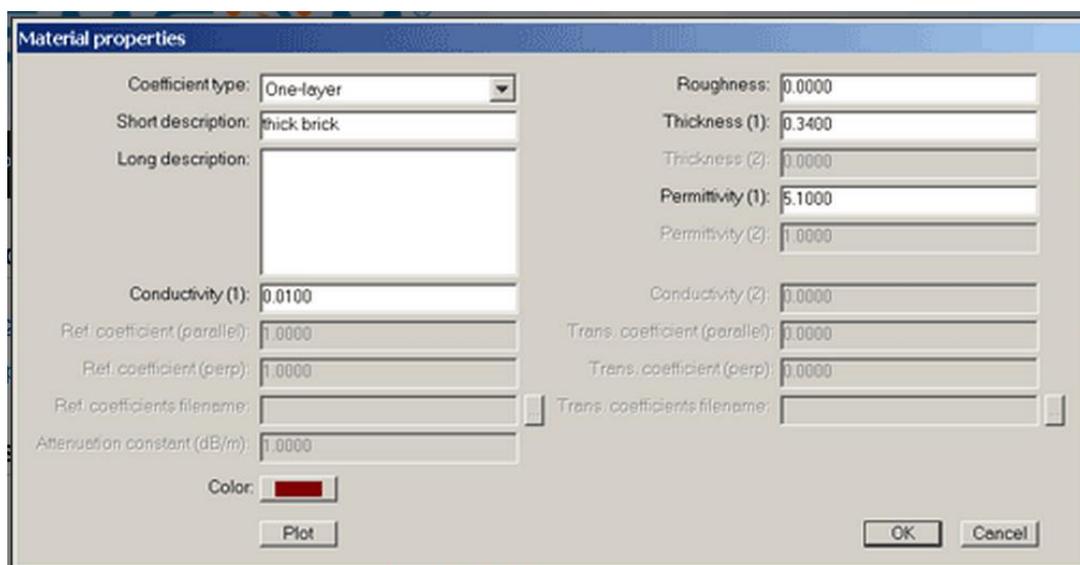


Рисунок 2 – Определение свойств стен

Это окно получается путем нажатия правой клавишей на соответствующей записи в иерархии проекта (Рисунок 3).

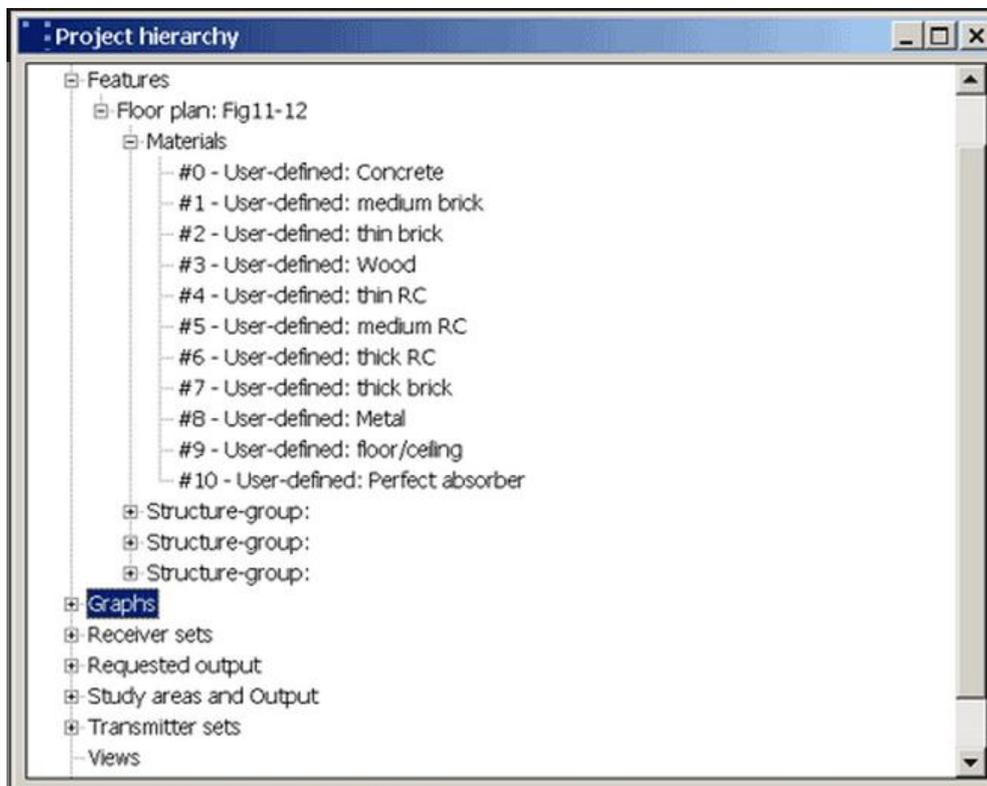
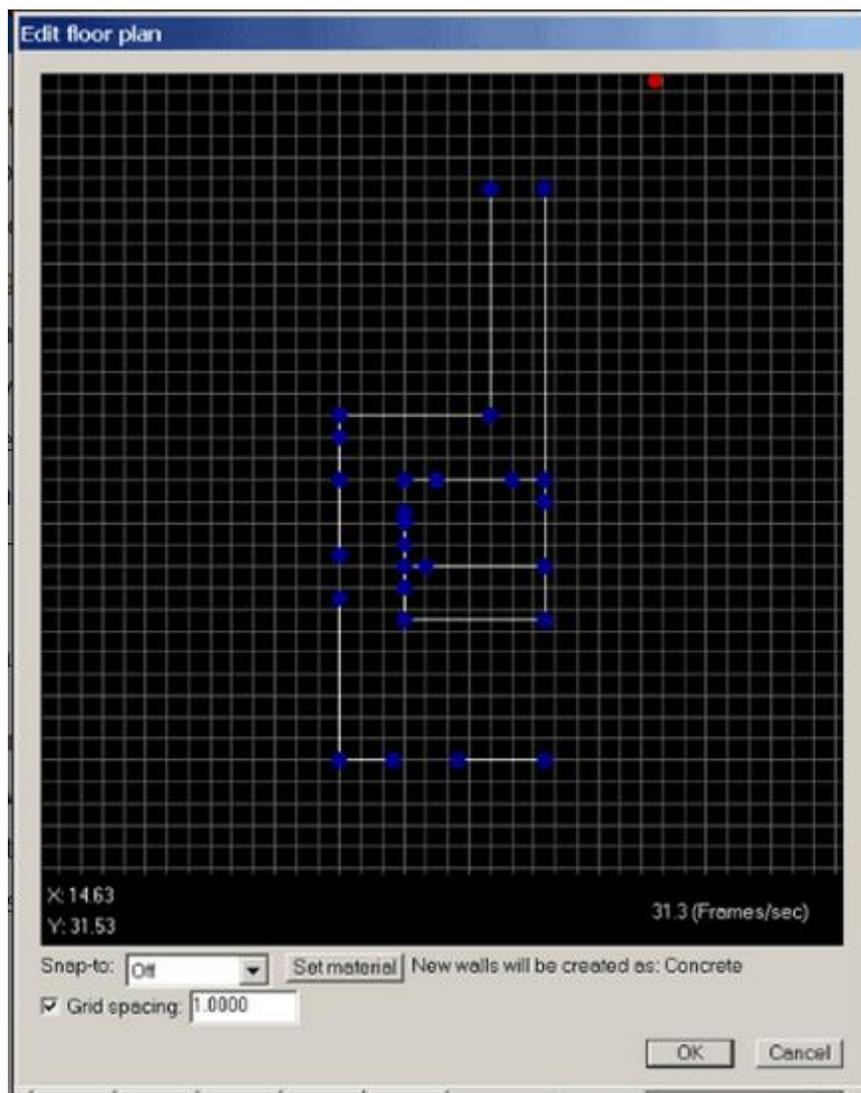


Рисунок 3 – проект иерархии

Это окно мы получаем путем нажатия правой кнопки на соответствующей записи в иерархии проекта Рисунок 3.

После определения стеновых материалов и толщины поэтажный план открываем окно редактора используем для рисования стены. Пол и потолок также добавляется с помощью этого редактора. Результат показан на Рисунке 4.



Рисунке 4 – Окно редактора используемая для рисования стены

Следующий шаг заключается в добавлении передатчика и приемника. Перед тем, как произвести расчет передатчика и приемника необходимо откалибровать мощность передатчика. Эта калибровка включает в себя размещение передающего устройства и приемника на расстоянии 1 м друг от друга и на высоте 1,3 м над полом в открытой площади прихожей.

Геометрия с передатчиком и приемником, расположенного для расчета калибровки показана на Рисунке 5.

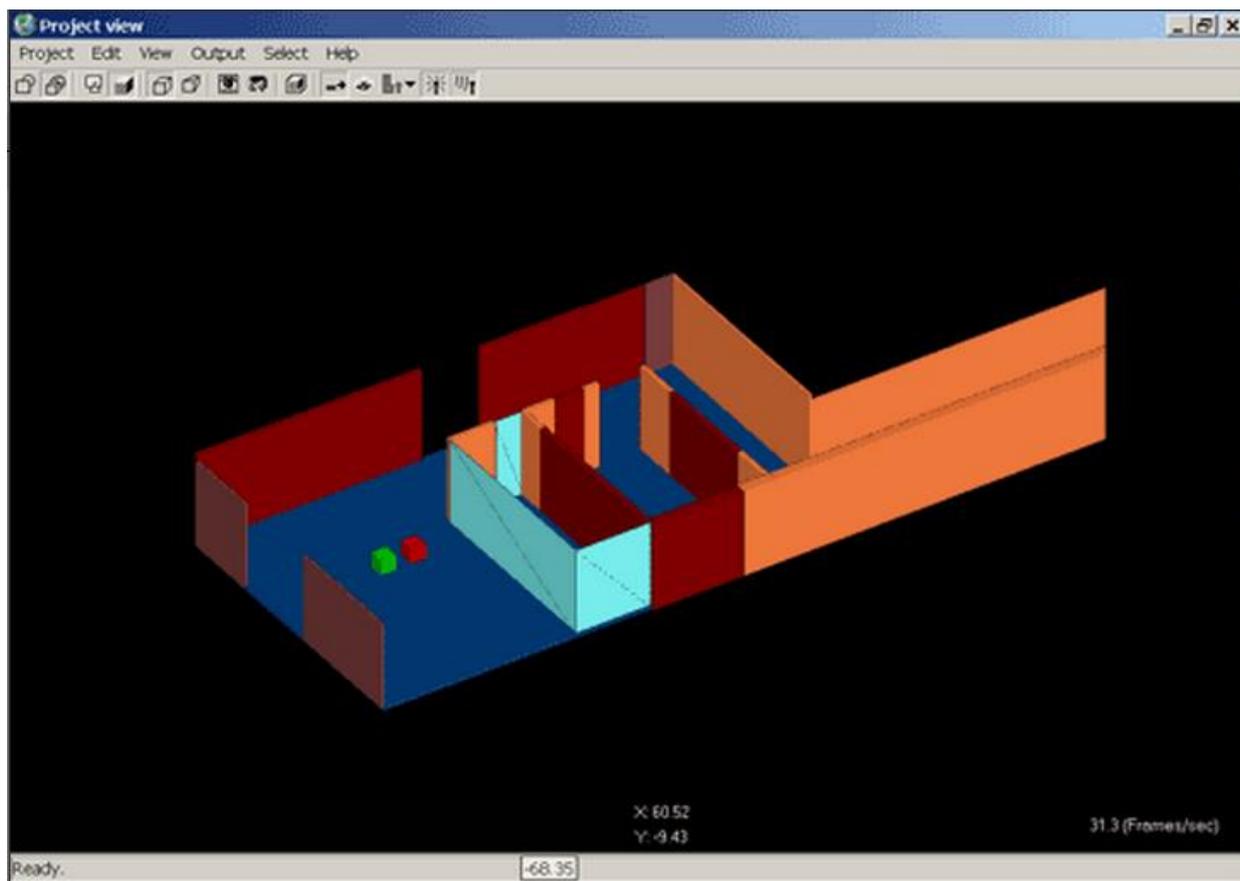


Рисунок 5 – Геометрия с передатчиком и приемником, расположенного для расчета калибровки

Потолок делается прозрачным для того чтобы мы могли увидеть стены и пол. Для того, чтобы произвести расчеты, указываем вертикальные линейные дипольные антенны, узкополосного сигнала с частотой 900 МГц, и области исследования.

Область исследования рисуется вручную, чтобы полностью охватывать весь план этажа. Расчет делается на основе модели 3D-лучей с 4 распространениями через стены, 2 отражениями от стен. Свойства других параметров расчета все доступны из главного окна Wireless InSite, необходимо выбрать соответствующую вкладку и щелкнуть правой кнопкой мыши по этому пункту.

После сохранения всех файлов с соответствующим именем файла, мы делаем калибровочные расчеты. Лучи [13], распространяющиеся от передачи к приемной антенны для расчета калибровки показаны на рис. 6.

Теперь мы готовы сделать расчеты для передатчика и приемника местах. Для этого мы сначала удалим передатчик и приемник используемых для калибровки, и затем добавим новое место передатчика и приемника, пару маршрутов. Расстояние между приемником и передатчиком сделаем меньше, чем значения стоят по умолчанию, так как расстояния до него просто для него коротка. Высоты настраивается в окне

"контрольных точек" для редактирования открываем окно свойств Tx / Rx, как показано на Рисунке 7

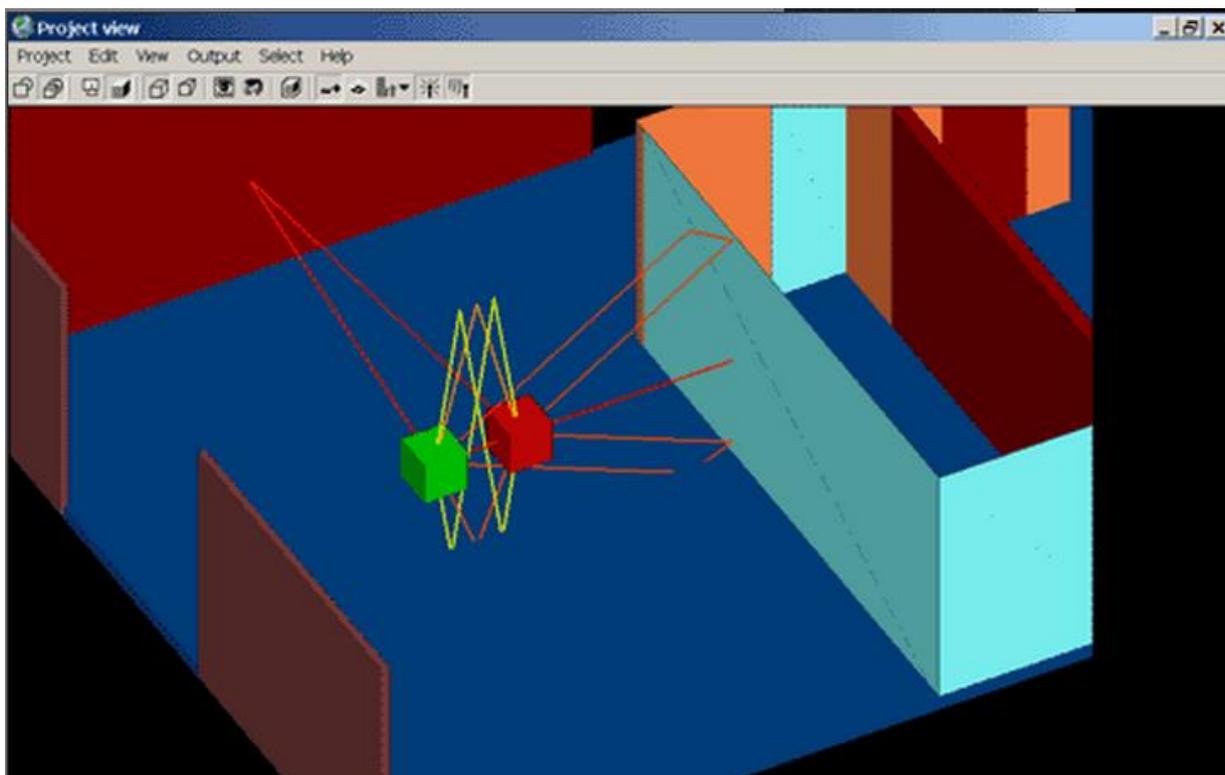


Рисунок 6 – Лучи, распространяющиеся от передачи к приемной антенне

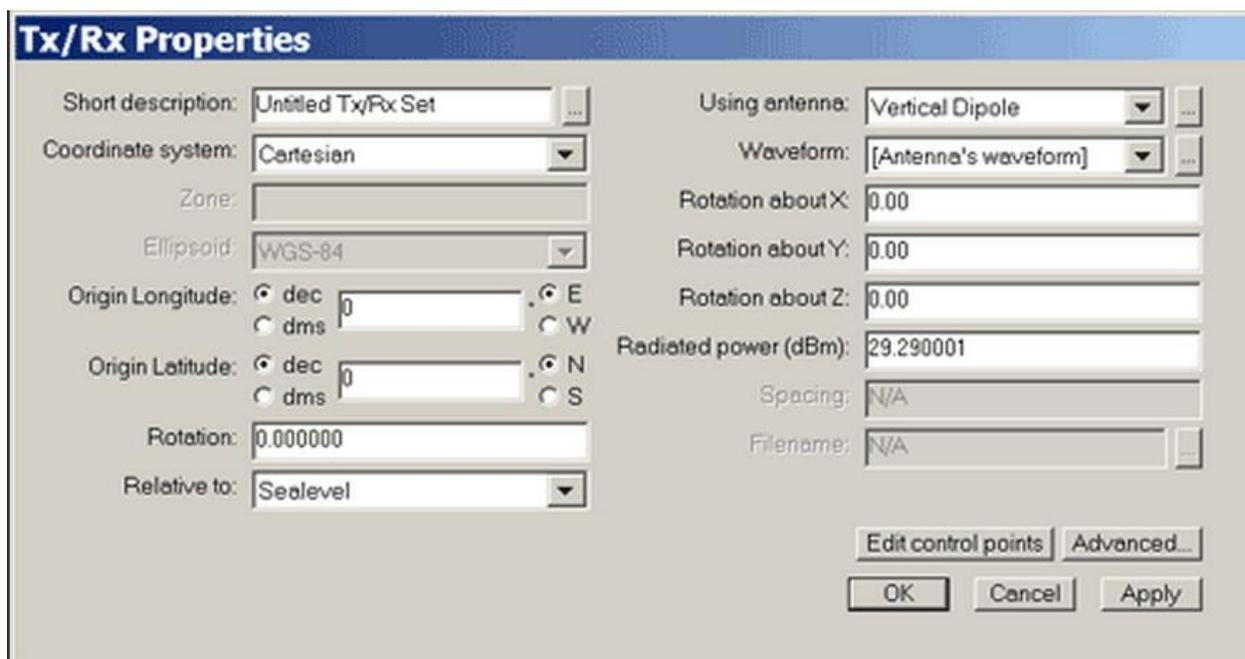


Рисунок 7 – Окно свойств Tx / Rx

Результат показан на Рисунке 8.

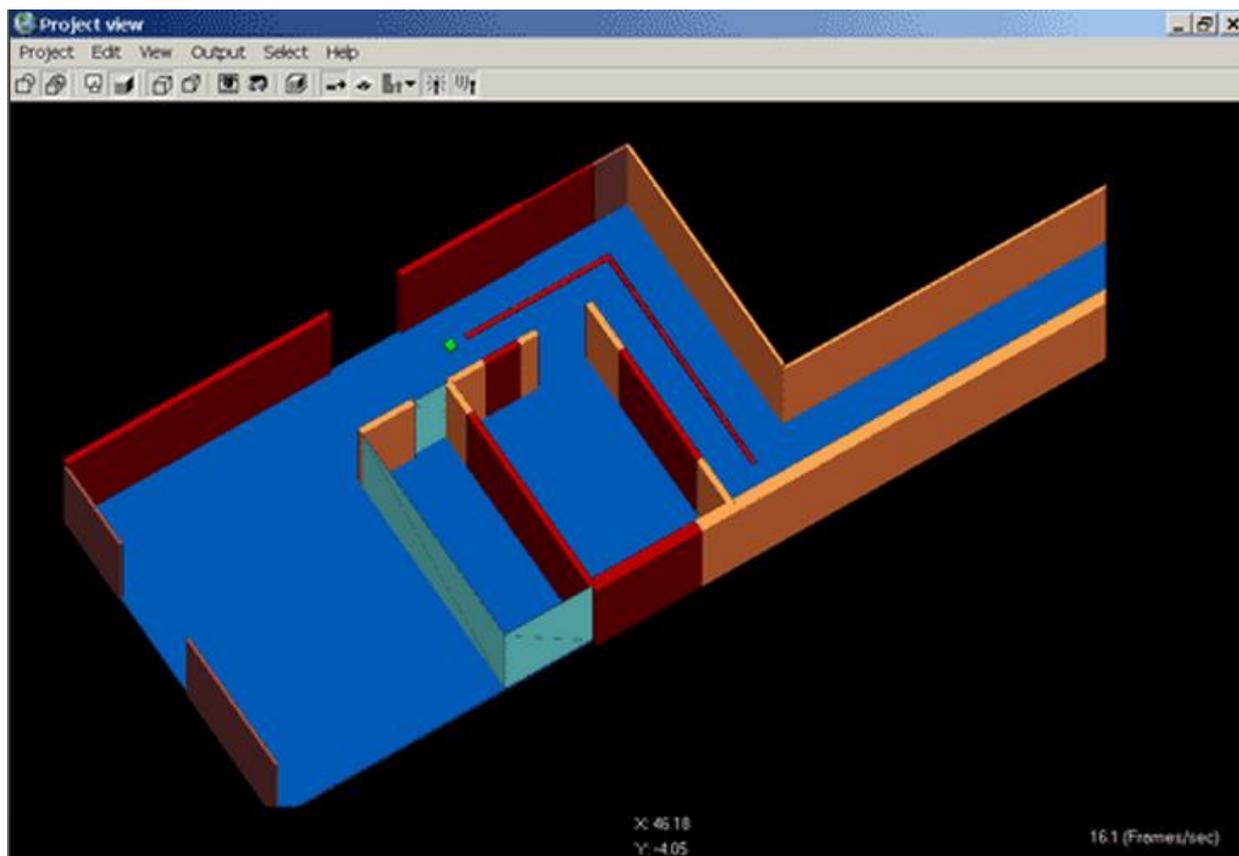


Рисунок 8 – Результат вводимых параметров

**Результаты.** Измерения были проведены в коридорах и помещениях на цокольном этаже здания. Большинство измерений были рассмотрены с передатчиков, расположенным на одном месте, и движущимся в помещении приемником. Точность расположения приемника и передатчика составляла 10 см.

Для каждого измерения местоположения рассматривался уровень средней мощности полосы (850-950 МГц). Медиана имеет полосу частот такой же эффективности, как и принимаемая в среднем на одну частоту измерений небольшой окрестности (пространства). Для большинства измерений медиана измерений близка к средней (частоте). Медиана в среднем равна 0,5 дБ в 93% измерений. Чувствительность приемника составляла порядка -90 дБ.

**Выводы.** Проведён анализ существующих беспроводных систем связи, выделены преимущества и недостатки их использования. Дан анализ моделей распространения радиосигнала в условиях замкнутых пространств. Показано, что точность модели беспроводной сети зависит от полноты учета исходных данных. Проведено моделирование распространения электромагнитных волн внутри помещений, для большинства измерений медиана измерений близка к средней (частоте).

Медиана в среднем равна 0,5 дБ в 93% измерений. Чувствительность приемника составляла порядка -90 дБ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Львович Я.Е. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П.Преображенский, С.О.Головинов // Телекоммуникации. 2010. № 11. С. 2-6.
2. Львович Я.Е. Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П.Преображенский, С.О.Головинов // Теория и техника радиосвязи. 2011. № 1. С. 5-9.
3. Толстых С.М. Analytical review of methods of information security in wireless networks / С.М.Толстых, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1(20). С. 67-69.
4. 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.
5. Львович Я.Е. Исследование метода трассировки лучей для проектирования беспроводных систем связи / Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П.Преображенский, С.О.Головинов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. Т. 17. № 1. С. 32-35.
6. Преображенский А.П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / А.П.Преображенский, Р.П.Юров // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 35-37.
7. Алимбеков А.Р. Методы определения рассеивающих свойств объектов / А.Р.Алимбеков, Е.А.Авдеенко, В.В. Шевелев // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1(20). С. 22-24.
8. Толстых С.М. Управление системами беспроводной связи / С.М.Толстых, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2(21). С. 83-85.
9. Шапаев А.В. Оптимизация беспроводных сенсорных сетей / А.В.Шапаев, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2(21). С. 86-89.
10. Баутин И.А. Модели распространения радиосигнала WI-FI / И.А.Баутин, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2(21). С. 107-109.
11. 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.
12. Remcom. Wireless Insite v. 2.6.3, Reference Manual, 384 pp.
13. 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.

D. P. Komaritiy, Y. S. Sakharov  
**THE SIMULATION AND ALGORITHMIC SOLUTIONS OF  
PROBLEMS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS IN THE  
CONDITIONS OF CLOSED SPACES**

*JSC concern "Sozvezdie", Voronezh, Russia  
University Of Dubna, Dubna, Russia*

*The urgency of research is caused by that in modern conditions there is a widespread use of wireless networks. When designing wireless networks, a big role for the modeling stage, which includes the calculations of the basic parameters of wireless access systems. In this regard, this paper aims to identify opportunities to use appropriate approaches in modeling the propagation of radio signals in indoor environments, and at identifying possible errors in calculations. A leading approach to the study of this problem is the use of ray tracing technique, which allows to take into account the different geometry of the premises and materials located within the facilities. The article presents the results of simulation program Wireless InSite. The materials of the paper are of practical value to professionals associated with the design of wireless networks indoors.*

**Keywords:** communication, simulation, wireless networks, algorithm, area.

## REFERENCES

1. L'vovich Ya.E. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya besprovodnykh sistem svyazi / Ya.E.L'vovich, I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, S.O.Golovinov // Telekommunikatsii. 2010. No. 11. pp.2-6.
2. L'vovich Ya.E. Issledovanie metodov optimizatsii pri proektirovanii sistem radiosvyazi / Ya.E.L'vovich, I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, S.O.Golovinov // Teoriya i tekhnika radiosvyazi. 2011. No. 1. pp.5-9.
3. Tolstykh S.M. Analytical review of methods of information security in wireless networks / S.M.Tolstykh, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2017. No. 1(20). pp.67-69.
4. Choporov O.N. Analiz zatukhaniya radiovoln besprovodnoy svyazi vnutri zdaniy na osnove sravneniya teoreticheskikh i eksperimental'nykh dannykh / O.N.Choporov, A.P.Preobrazhenskiy, A.A.Khromykh // Informatsiya i bezopasnost'. 2013. Vol.16. No. 4. pp. 584-587.

5. L'vovich Ya.E. Issledovanie metoda trassirovki luchey dlya proektirovaniya besprovodnykh sistem svyazi / Ya.E.L'vovich, I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, S.O.Golovinov // Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy. 2012. Vol.17. No. 1. pp.32-35.
6. Preobrazhenskiy A.P. SAPR sovremennykh radioelektronnykh ustroystv i sistem / A.P.Preobrazhenskiy, R.P.Yurov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2006. Vol.2. No. 3. pp.35-37.
7. Alimbekov A.R. Metody opredeleniya rasseivayushchikh svoystv ob"ektov / A.R.Alimbekov, E.A.Avdeenko, V.V. Shevelev // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2017. No. 1(20). pp.22-24.
8. Tolstykh S.M. Upravlenie sistemami besprovodnoy svyazi / S.M.Tolstykh, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2017. No. 2(21). pp.83-85.
9. Shapaev A.V. Optimizatsiya besprovodnykh sensorykh setey / A.V.Shapaev, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2017. No. 2(21). pp.86-89.
10. Bautin I.A. Modeli rasprostraneniya radiosignala WI-FI / I.A.Bautin, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2017. No. 2(21). pp.107-109.
11. Voronov A.A. Obespechenie sistemy upravleniya riskami pri vzniknovenii ugroz informatsionnoy bezopasnosti / A.A.Voronov, I.Ya.L'vovich, Yu.P. Preobrazhenskiy, V.A.Voronov // Informatsiya i bezopasnost'. 2006. Vol. 9. No. 2. pp.8-11.
12. Remcom. Wireless Insite v. 2.6.3, Reference Manual, 384 pp.
13. L'vovich Ya.E. Issledovanie metoda trassirovki luchey pri proektirovanii besprovodnykh sistem svyazi / Ya.E.L'vovich, I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, S.O.Golovinov // Informatsionnye tekhnologii. 2011. No. 8. pp.40-42.