

УДК 621.396

А.П. Преображенский

## АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ В РАМКАХ ЛУЧЕВОГО ПОДХОДА

*Воронежский институт высоких технологий*

*В данной работе проведен анализ особенностей лучевых методов анализа распространения электромагнитных волн – метода геометрической оптики, физической оптики, физической теории дифракции. Для того, чтобы определить амплитуду поля в каждой из точек пространства требуется определить все лучи, которые проходят через эту точку. Рассмотрена модель распространения основного луча в помещении для двух случаев – отражение от пола и отражение от предмета, находящегося на определенной высоте над полом. Построены зависимости расстояния по горизонтали до точки отражения луча от угла падения, высоты приемника от угла отражения, высоты приемника для различных значений высоты отражающего объекта.*

**Ключевые слова:** моделирование, связь, дифракция, распространение волн внутри помещений, лучевые методы.

Для того, чтобы обеспечить работу систем радиосвязи, требуется не только проводить изучение структуры среды распространения радиоволн, но и осуществлять выбор наиболее эффективных вычислительных алгоритмов и схем расчета характеристик распространения радиосигналов.

Целью данной работы является исследование возможностей использования лучевых методов для оценок характеристик радиоволн в помещениях.

При проведении исследований процессов распространения радиоволн в разных средах традиционными являются лучевые методы.

Исследования показывают, что метод, основанный на геометрической оптике, представляет собой предельный случай при решении волновых задач, тогда, когда частота стремится к бесконечности или длина волны  $\lambda$  – к нулю [1].

При этом мы говорим о том, что нет учета волнового характера поля. Такой способ можно применять для того, чтобы определять электромагнитное поле в тех случаях, когда происходит отражение радиоволн и при этом размеры отражающих тел и минимальные радиусы кривизны их поверхности большие по сравнению с длинами волн.

Также, требуется, чтобы источники полей находились на весьма больших расстояниях от поверхностей объекта [2-14].

Базовые положения способа геометрической оптики заключаются в том, что: распространение электромагнитной энергии происходит внутри лучевых трубок; потоки энергии, которые внутри каждой из лучевых

трубок являются постоянными; для амплитуд векторов поля по каждой из точек в пространстве происходит определение на основе того, что постоянен поток энергии во внутренней части лучевой трубки; для фазы радиоколечаний по каждой из точек пространства необходимо рассчитывать длину пути от источников до точек наблюдения и ее изменение вдоль луча происходит линейным образом; в том случае, когда через точку наблюдения идет определенное число лучевых трубок, тогда общее поле рассчитывается как в виде геометрической суммы полей по всем составляющим.

Необходимо понимать, что понятие лучевых трубок можно применять, в случаях, когда амплитуды векторов поля и параметров среды слабым образом меняются на расстоянии длины волны, для однородных сред лучи будут прямыми линиями, а для неоднородных – плавные кривые, при этом перераспределение энергии среди соседних лучевых трубок отсутствует и векторы  $E(r)$  и  $H(r)$  являются перпендикулярными лучу.

Для геометрической оптики мы предполагаем, что поля в точках наблюдения определяются значениями их векторов в тех точках отражающих поверхностей или волновых фронтов полей источников, из которых лучи достигают данные точки. То есть, метод геометрической оптики позволяет получать решения лишь для «освещенных» областей пространств.

При этом в методе волновой оптики (или его еще называют – физической оптики), происходит учет волнового характера электромагнитного поля и используется принцип Гюйгенса, когда представляется поле точечного источника как волновая функция  $\Psi = \Psi_m \exp[j\omega(\tau - r/v)]/r$ , где  $\Psi$  является любой составляющей в векторе поля;  $\omega$  – круговой частотой;  $r$  – расстоянием до точки, где идет наблюдение;  $v$  – скоростью анализируемого волнового процесса [1].

Подобный метод можно применять для тех же ограничений, что и способ геометрической оптики, рассматриваются большие, гладкие тела, при этом точки наблюдения находятся на весьма большом расстоянии от источника. Но способ волновой оптики дает возможности определения электромагнитного поля и для областей геометрической тени (то есть, когда применяется этот метод, то теневых областей за объектами нет, что можно реально наблюдать вследствие эффектов дифракции).

Амплитуду полей в точках наблюдения определяют на основе вклада от всех участков в волновом фронте полей источника, то есть, в виде геометрической суммы колебаний при учете амплитуды и фазы по каждому в зависимости от того, каково расстояние до точки наблюдения [5-8].

Если говорить о строгой математической формулировке способа волновой оптики, то в ней есть совпадение с точностью до постоянных

фазовых множителей  $\exp(j\pi/2)$  с формулой в скалярном интеграле Кирхгофа.

Но при этом способ волновой оптики имеет совпадение со способом геометрической оптики для тех отношений, когда значения по волновым функциям могут задаваться строгим образом только для пределов освещенных участков в волновом фронте, а для теневой области мы полагаем их равными нулю.

Вследствие этого мы не можем в интеграле Кирхгофа задавать строгим образом значения по всем подинтегральным функциям и применять такой интеграл как строгое решение в электродинамических задачах.

Способ геометрической теории дифракции является развитием метода геометрической оптики с точки зрения решения проблем дифракции радиоволн на больших объектах, имеющих сложную геометрическую форму [9].

Он основывается на предположениях, что идет распространение энергии во внутренней области лучевых трубок при тех же особенностях, что и для способа геометрической оптики, но есть отличия от способа геометрической оптики, в том, что помимо падающего, отраженного и преломленного луча вводят в рассмотрение дифрагированный луч.

Для того, чтобы определить амплитуду поля в каждой из точек пространства требуется определить все лучи, которые проходят через эту точку, сделать вычисление полей, соответствующих каждому из лучей и сделать суммирование их.

При процессах определения полей дифрагированных лучей мы предполагаем, что они пропорциональны в точках дифракции полям падающих лучей.

Мы рассмотрим модель распространения электромагнитных волн внутри помещения. На Рисунке 1 приведена схема распространения основного луча. Идет отражение от пола.

Источник радиоволн находится на расстоянии  $Y$  от пола, приемник находится на расстоянии  $H$  от пола. В качестве примера мы полагали, что  $Y=1$  м, тогда на Рисунке 2 приведена зависимость  $L(\varphi)$ .

На Рисунке 3 приведена зависимость высоты приемника от угла отражения  $\varphi$  (кривая 1 –  $H=Y$ , кривая 2 –  $H=0.7 \cdot Y$ , кривая 3 –  $H=0.5 \cdot Y$ ).

На Рисунке 4 рассмотрен случай отражения от объекта, находящегося на расстоянии  $h$  от пола.

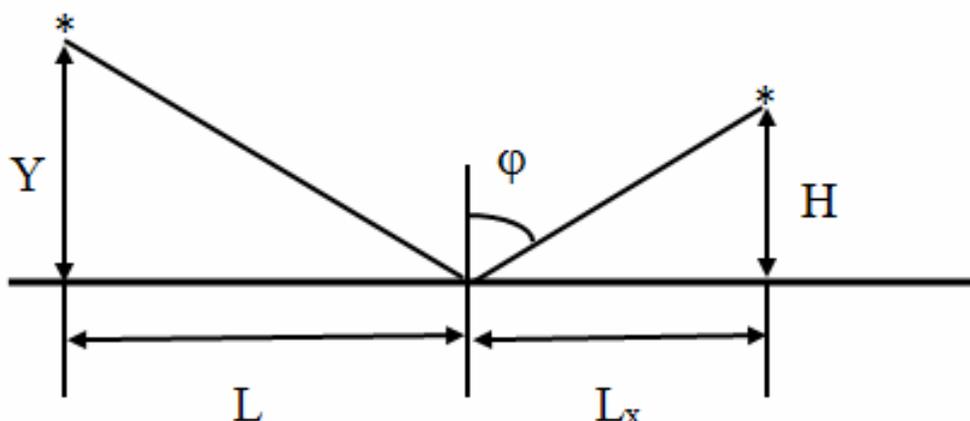


Рисунок 1 – Схема распространения основного луча при отражении от пола

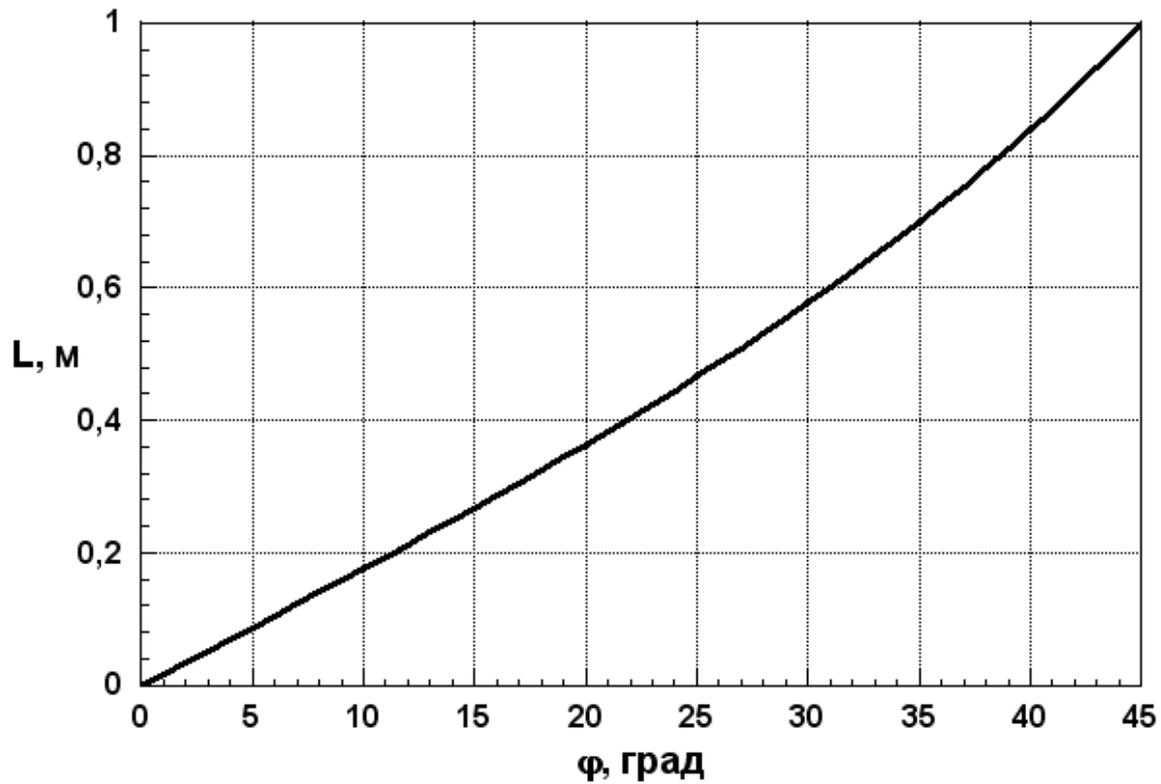


Рисунок 2 – Зависимость расстояния по горизонтали до точки отражения луча от угла  $\varphi$

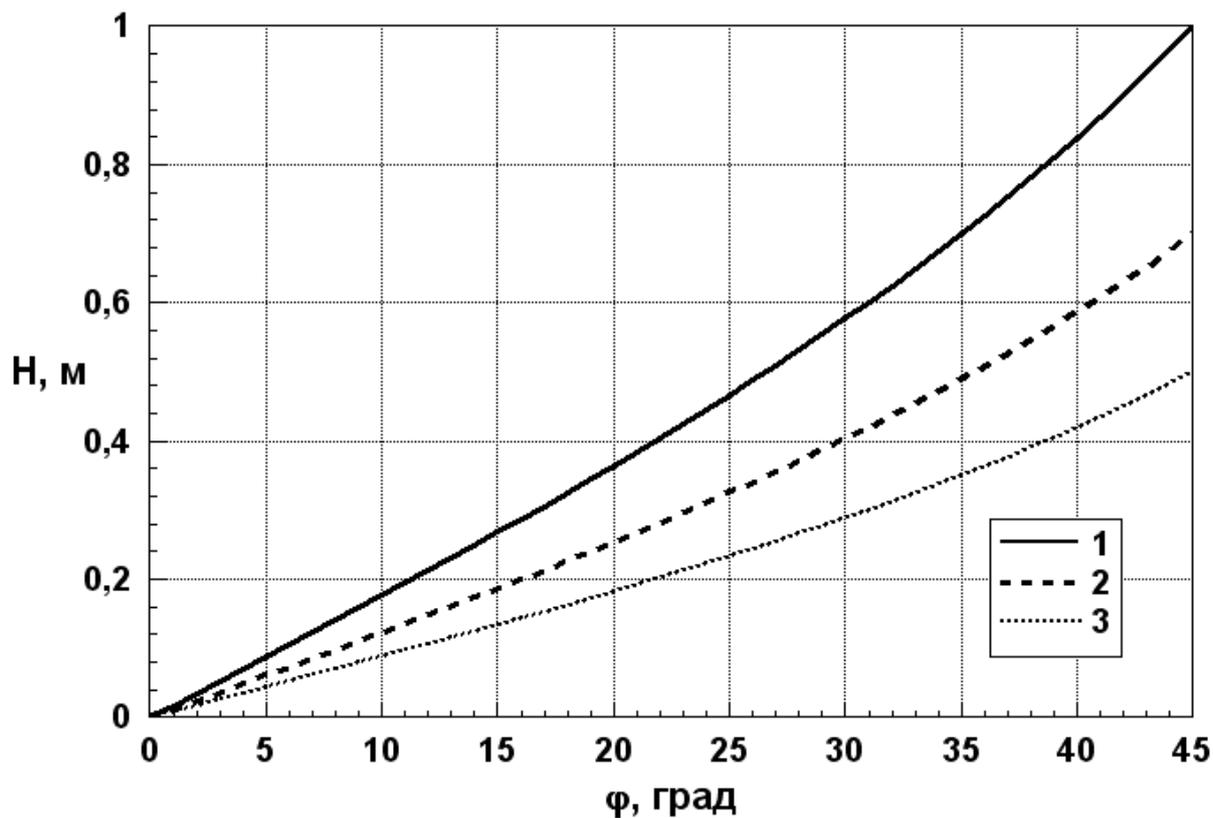


Рисунок 3 – Зависимость высоты приемника от угла отражения  $\varphi$

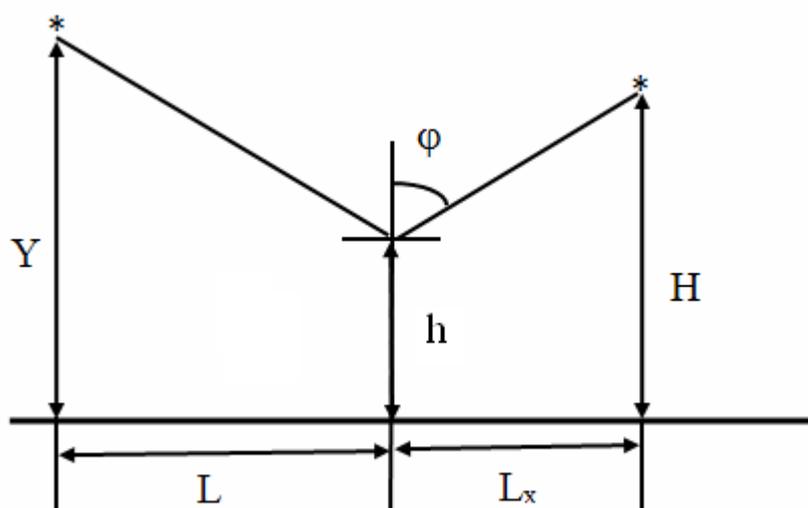


Рисунок 4 – Схема распространения основного луча при отражении от предмета, находящегося над определенной высотой над полом

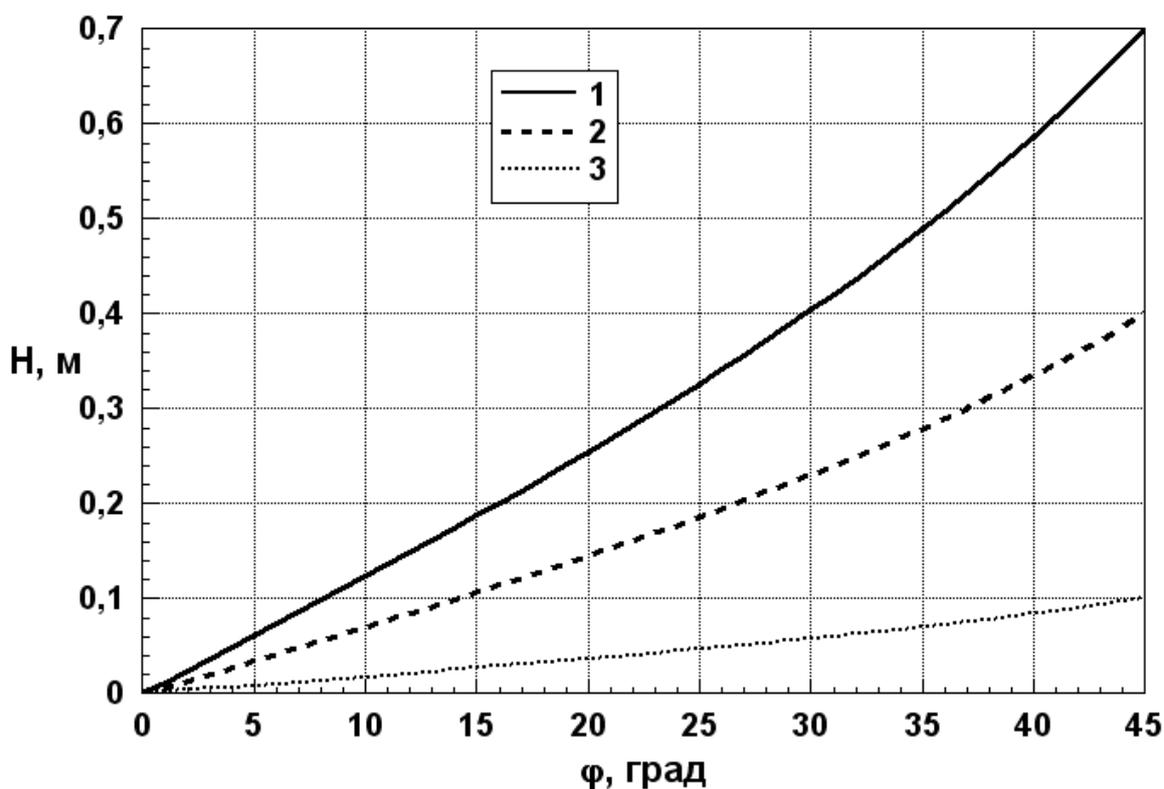


Рисунок 5 – Зависимость высоты приемника  $H(\varphi)$  для различных значений  $h$

На Рисунке 2 приведена зависимость  $H(\varphi)$  для различных значений  $h$  (кривая 1 –  $h=0.3 \cdot Y$ , кривая 2 –  $h=0.6 \cdot Y$ , кривая 3 –  $h=0.9 \cdot Y$ ), при этом мы полагали, что  $H=Y$ .

На Рисунке 3 приведена зависимость  $L_x(\varphi)$  для различных значений  $H$  при условии  $h=0.5 \cdot H$  (кривая 1 –  $H=Y$ , кривая 2 –  $H=0.8 \cdot Y$ , кривая 3 –  $H=0.6 \cdot Y$ ), при этом мы полагали, что  $H=Y$ .

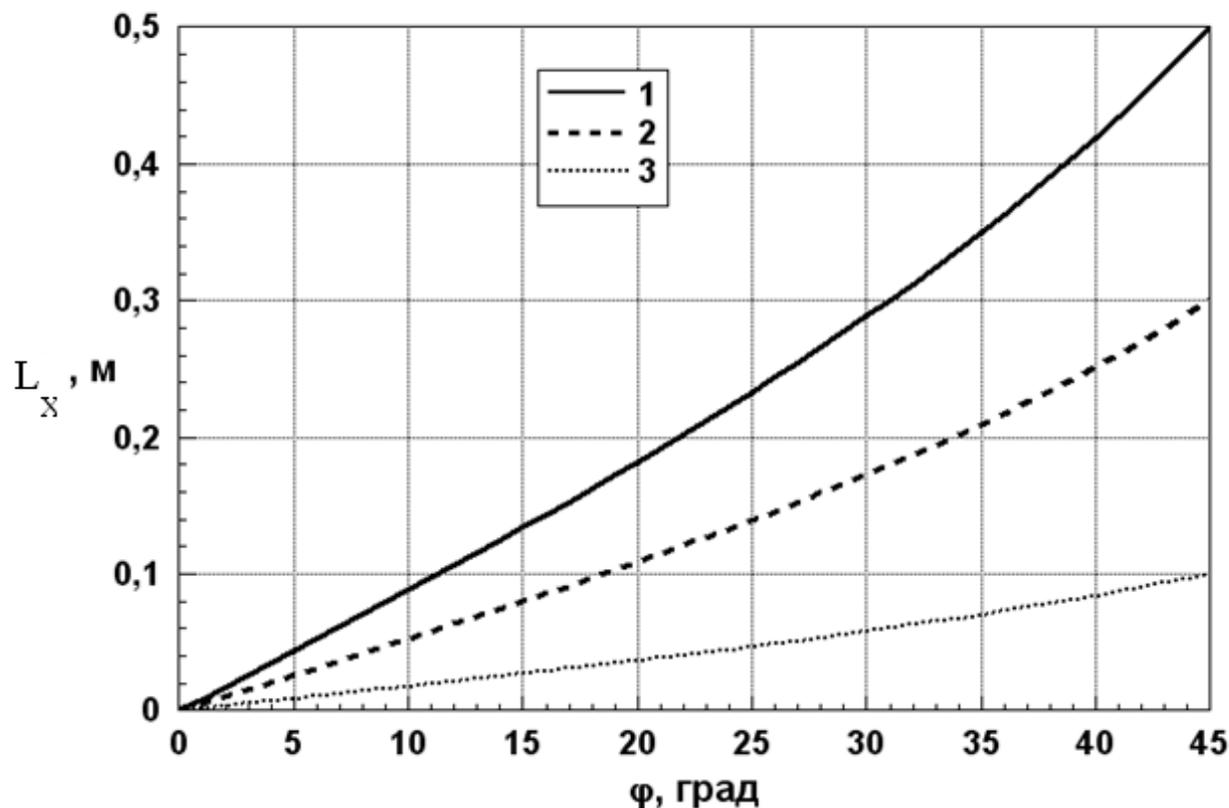


Рисунок 6 – Зависимость  $L_x(\varphi)$  для различных значений  $h$

Вывод. Проведен анализ основных характеристик лучевых методов. Рассмотрены закономерности распространения основного луча при распространении электромагнитных волн в помещении, когда отражение идет от пола и от предмета, находящегося над определенной высотой над полом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кобак В. О. Радиолокационные отражатели / В. О. Кобак - М.: Сов. радио, 1972. -248 с.
2. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В.Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
3. Казаков Е.Н. Разработка и программная реализации алгоритма оценки уровня сигнала в сети WI-FI / Е.Н.Казаков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 1. С. 13.

4. Головинов С.О. Проблемы управления системами мобильной связи / С.О.Головинов, А.А.Хромых // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14.
5. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я.А.Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
6. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю.Кульнева, И.А.Гащенко // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
7. Болучевская О.А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О.А.Болучевская, О.Н.Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 3. С. 4.
8. Максимова А. А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А. А. Максимова, А. Г. Юрочкин. // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 53-56.
9. Боровиков В. А. Геометрическая теория дифракции / В. А. Боровиков, Б. Е. Кинбер. - М.: Связь, 1978. - 247 с.

A. P. Preobrazhensky

**THE ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC WAVE  
PROPAGATION INSIDE THE BUILDING WITHIN THE RADIAL  
APPROACH**

*Voronezh Institute of High Technologies*

*In this paper the analysis of the characteristics of radiation methods for the analysis of electromagnetic wave propagation – the method of geometrical optics, physical optics, physical theory of diffraction are considered. In order to determine the amplitude of the field in each point of space is required to determine all the rays that pass through this point. The considered model of distribution of the main beam in the room for two cases – floor reflections and the reflection from the object, located a certain height above the floor. Built according to the horizontal distance to the point of reflection of the beam on the incidence angle, the height of the receiver from the angle of reflection, the height of the receiver for various values of height of the reflecting object.*

**Keywords:** simulation, communication, diffraction, wave propagation in indoor radiation methods.

## REFERENCES

1. Kobak V. O. Radiolokatsionnye otrazhateli / V. O. Kobak - M.: Sov. radio, 1972. -248 s.
2. Miloshenko O.V. Metody otsenki kharakteristik rasprostraneniya radiovoln v sistemakh podvizhnoy radiosvyazi / O.V.Miloshenko // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. № 9. S. 60-62.
3. Kazakov E.N. Razrabotka i programmaya realizatsii algoritma otsenki urovnya signala v seti WI-FI / E.N.Kazakov // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2016. № 1. S. 13.
4. Golovinov S.O. Problemy upravleniya sistemami mobil'noy svyazi / S.O.Golovinov, A.A.Khromykh // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. № 9. S. 13-14.
5. Mishin Ya.A. O sistemakh avtomatizirovannogo proektirovaniya v besprovodnykh setyakh / Ya.A.Mishin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. № 10. S. 153-156.
6. Kul'neva E.Yu. O kharakteristikakh, vliyayushchikh na modelirovanie radiotekhnicheskikh ustroystv / E.Yu.Kul'neva, I.A.Gashchenko // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. № 5-2. S. 50.
7. Boluchevskaya O.A. Svoystva metodov otsenki kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln / O.A.Boluchevskaya, O.N.Gorbenko // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2013. № 3. S. 4.
8. Maksimova A. A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A. A. Maksimova, A. G. Yurochkin. // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. № 16. S. 53-56.
9. Borovikov V. A. Geometricheskaya teoriya difraktsii / V. A. Borovikov, B. E. Kinber. - M.: Svyaz', 1978. - 247 s.