

УДК 621.396

А.П.Преображенский
**ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В
ТОННЕЛЯХ**

Воронежский институт высоких технологий

В работе отмечены основные особенности, связанные с решением задач, связанных с распространением электромагнитных волн в тоннелях. Кратко рассмотрены основные методы моделирования, указаны возможности использования программных продуктов.

Ключевые слова: распространение электромагнитных волн, тоннель, излучение, моделирование.

В связи с тем, что сейчас активно внедряются новые перспективные системы связи разного назначения, проблемы работы систем сотовой связи для городских условий, особенно в условиях, когда передача затруднена, являются весьма актуальными задачами.

В большинстве радиоэлектронных средств, которые существуют в данных условиях, работа осуществляется для диапазона ультракоротких волн. Функционирование радиоэлектронных средств, расположенных в черте города, играет заметную роль в жизни людей.

Трудно увидеть такие крупные города, в которых бы не были развернуты системы радиосвязи. Для того, чтобы обеспечить качественное функционирование подобных радиоэлектронных систем требуется обладать информацией о том, какое распределение полей в областях застройки и внутри тоннелей.

Весьма остро вопросы, связанные с планированием и проектированием, возникают именно для городских условий, в связи с тем, что в современном крупном городе, если мы говорим об условиях распространения радиоволн и характеристиках их взаимодействия с окружающими объектами, можно выделить сложные неоднородные структуры, которые могут иметь размеры от десятков метров до десятков километров.

Помимо этого, рост объемов по передаваемой информации происходит постоянно.

С этим связано то, что осваиваются новые, более высокие области частот, это происходит одновременно с тем, как развиваются системы связи.

Если переходить в более высокочастотные диапазоны, то строительные объекты и сооружения, а также окружающий рельеф, будут оказывать более сильное влияние на то, каким образом будут распространяться и переизлучаться радиоволны.

Задачи распространения волн внутри тоннелей являются весьма

сложными.

Если внутри тоннелей находятся стены, перегородки, радиоэлектронная аппаратура, люди и другие объекты, то это определяет создание сложной среды для распространения радиоволн.

Когда рассматривают условия, связанные с распространением радиоволн внутри тоннелей, то они заметным образом отличаются от условий, связанных с распространением радиоволн для свободного пространства.

В качестве основных эффектов, которые наблюдаются при процессах распространении радиоволн внутри тоннелей, можно отметить множество лучей, что связано с тем, что есть многократные отражения радиоволн от стен тоннеля и других объектов, которые находятся внутри него, происходят процессы дифракции на множестве острых кромок.

Указанные эффекты формируют весьма сложные интерференционные структуры для электромагнитных полей, которые сильным образом изменяются, когда внутри тоннелей перемещаются люди, транспорт и другие объекты.

К настоящему времени разработано несколько моделей распространения радиосигналов внутри тоннелей. Их можно представить в виде четырех групп:

- на основе статистических подходов,
- на основе эмпирических подходов,
- с применением лучевых методов,
- на основе численных компьютерных моделей.

Для статистических подходов нет необходимости в подробной информации об изучаемых объектах. Требуется знание геометрических размеров и координат передатчиков и приемников. Необходимо понимать, что вследствие того, что внутри тоннеля происходят многократные переотражения от стен, тогда, когда мы имеем случайные координаты для точек наблюдения, для распределения электромагнитного поля мы будем иметь случайные характеристики.

Когда мы имеем отсутствие прямой видимости между передатчиками и приемниками, то в точки приема идут лучи, которые появились вследствие того, что существует дифракция потолка тоннелей и вертикальных стенках, а также отраженные от стенок, которые расположены достаточно близко от передатчика. Это ведет к тому, что характер поля для точек приема будет случайным.

В случае проведения экспериментов получить значения напряженности полей во внутренних областях тоннелей не всегда является простой задачей.

Поскольку происходят многочисленные переотражения, то будет сложная интерференционная картина, причем для некоторых участках

уровень электромагнитного поля будет весьма малым. Для подробного исследования распределения поля может потребоваться очень большое число экспериментов.

В лучевых моделях есть определенные упрощения, касающиеся того, что анализу подвергается один или несколько лучей между передатчиком и приемником. Возможен учет отражений от стен тоннелей и дифракции на границах различных стен и объектов.

Используется приближение геометрической оптики. При этом есть возможности учета интерференции волн. На настоящий момент построены две возможные реализации подобных моделей, которые называют трассировка лучей (ray tracing) и образование лучей (ray launching). При решении количество итераций, которые необходимо учесть, определяется геометрией объектов и производительностью компьютеров.

Для оценки дифракционных потерь распространяющихся сигнала по каждому из путей необходимо в расчетах использовать геометрическую теорию дифракции, а расчет коэффициентов отражения осуществляется на основе формул Френеля.

В ряде случаев можно применять эмпирические соотношения, базирующиеся на экспериментальных данных. Но координаты объектов должны быть указаны с довольно высокой точностью, поскольку фазовые соотношения между лучами этим определяются.

Весьма точными могут быть названы численные модели, которые основываются на использовании разных методов, предназначенных для того, чтобы решать уравнения Максвелла, которые записываются в дифференциальной или интегральной форме.

Для того, чтобы численным образом решать уравнения Максвелла, привлекают метод интегральных уравнений, метод конечных разностей во временной области.

Но вследствие того, что методы характеризуются высокой вычислительной трудоемкостью, то эффективно они могут применяться лишь для моделирования в небольших пространственных областях, а также часто делают задание не трехмерных, а двумерных моделей. Существуют возможности комбинации таких методов с другими, в том числе и с аналитическими.

При моделировании распространения радиоволн, часто исходят из того, что предсказывается средний уровень принимаемых сигналов, для заданного расстояния от передатчика, и определяется разброс их значений, исходя из того, что какая ситуация в тоннеле.

Проведение расчета канала связи дает возможности определения зоны обслуживания передатчиков.

При моделировании средних уровней сигнала, исходя из того, какое расстояние между передатчиками и приемниками, будет применяться

крупномасштабное моделирование, в рамках которого происходит определение сигнала на больших расстояниях (которые составляют несколько сотен и тысяч метров).

Но в других моделях, мелкомасштабных, происходит учет быстроменяющихся значений уровней принимаемых сигналов для небольших смещений (составляющих несколько длин волн) или для коротких интервалов времени (нескольких секунд).

Когда идет проектирование корпоративных систем, относящихся к радиосвязи в тоннелях, достаточно часто можно встретиться с требованиями, которые будут более жесткими, чем для сетей с общим использованием. То есть, стремятся обеспечить повышенную устойчивость связи для условий создания сильной интерференции поля.

Вследствие развития электродинамических систем, направленных на автоматизированное проектирование (САПР) появляются возможности для решения, как совершенно новых задач, относящихся к определению электродинамической обстановки в замкнутых пространствах, с применением теории дифракции электромагнитных волн, которые требуют больших вычислительных затрат, так и практически образом осуществлять реализацию многих научных разработок, поскольку серьезная степень сложности для них оказывала тормозящее воздействие на их действительное исполнение.

Среди тех программных продуктов, которые созданы на сегодняшний момент в САПР, следует отметить те пакеты программ, которые предназначены для того, чтобы моделировать системы, которые работают с широкополосными цифровыми сигналами, моделируют электромагнитную совместимость, моделируют и анализируют распространение электромагнитных волн на большие расстояния. Достаточно часто исследователями применяются такие программные продукты как Microwave Office и CST Microwave Studio.

Их можно применять на базе современных персональных компьютеров. Как ограничение в использовании Microwave Office следует указать то, что исследуемые объекты рассматривают в виде набора планарных компонентов, которые располагают в разных слоях. В CST Microwave Studio происходит разбиение трехмерного пространства, в котором располагают анализируемые объекты на достаточно большое число ячеек, но при этом происходит увеличение времени расчета.

Существуют определенные программные продукты, которые позволяют в некотором приближении дать оценку для уровней электромагнитных полей внутри тоннелей.

В качестве исходных данных для расчетов необходимо применять следующие:

- модели для ограниченного пространства, которые включают в себя геометрию анализируемых областей и их электрические свойства (относительные диэлектрические проницаемости и удельные проводимости) материалов, которые ограничивают такую область;
- рабочие частоты;
- типы излучателей;
- мощности излучателей;
- координаты излучателей в пространстве (например, могут быть заданы, декартовы координаты);
- диаграммы направленности излучателей;
- направление для главных лепестков в диаграмме направленности.

В тоннелях тяговыми сетями переменного тока на магистральных железных дорогах создаются весьма большие электромагнитные поля. Причем достаточно часто уровни напряженности таких полей могут быть больше, чем требуемые нормы.

Экспериментальные данные для таких объектов не всегда получаются, вследствие трудностей определения максимальных уровней напряженностей электромагнитных полей. В этой связи, необходимо применять метод конечных разностей.

Когда проводится анализ распределения электромагнитных полей, требуется принимать во внимание особенности внешней среды, которая оказывает влияние на то, какой уровень напряженности поля. Среди подобных особенностей можно выделить:

- неоднородности в подстилающих поверхностях – ямки, насыпи;
- элементы конструкции;
- подвижной состав, который стоит на путях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 49-50.
2. Павлов А.Н. Электромагнитные поля и жизнедеятельность/Учебное пособие. - М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. - 148с.
3. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
4. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14.

5. Кадомская К. П., Степанов И. М. Влияние конструкций воздушных линий высокого напряжения на интенсивности электрического и магнитного полей по их трассам: Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт ч.2: Труды третьей международной научно-технической конференции. Омск: Иртышский филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта», 2007. С. 293 -297.
6. www.rodnik.ru.
7. <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.044-2010.pdf>.
8. <http://botsman.narod.ru/1/files/sources.htm>.

A.P. Preobrazhensky

THE PROBLEMS OF ASSESSMENT OF THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT IN TUNNELS

Voronezh Institute of High Technologies

In the paper the main features that appeared when the problems connected with propagation of electromagnetic waves in tunnels are considered. Briefly the main methods of simulation are shown, the possibility of using program products is indicated.

Keywords: propagation of electromagnetic waves, tunnel, irradiation, simulation.