



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 38 за 2007 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

**А. Н. Андрианов, А. В. Березин,
А. С. Воронцов, К. Н. Ефимкин,
М. Б. Марков**

Моделирование побочных
электромагнитных излучений
на многопроцессорных
вычислительных системах

Статья доступна по лицензии
[Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Моделирование побочных электромагнитных излучений на многопроцессорных вычислительных системах / А. Н. Андрианов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2007. № 38. 17 с.
<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2007-38>

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
им. М.В. КЕЛДЫША

**А.Н. Андрианов, А.В. Березин, А.С. Воронцов,
К.Н. Ефимкин, М.Б. Марков**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ИЗЛУЧЕНИЙ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

МОСКВА 2007

А.Н. Андрианов, А.В. Березин, А.С. Воронцов, К.Н. Ефимкин, М.Б. Марков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация

Представлена математическая модель побочных электромагнитных излучений локальных информационных сетей, основанная на задаче Коши для уравнений Максвелла в трехмерной постановке. Исследованы способы задания исходных данных. Представлены результаты модельных расчетов излучений в постановке, учитывающей экранированные источник и приемник информационного сигнала, а также заземление в грунте. Пространственно-временные характеристики распределений напряженности электрического поля позволили сделать ряд выводов о характере спада излучения. Определены наиболее интенсивно излучающие элементы сети.

A.N. Andrianov, A.V. Berezin, A.S. Voronzov, K.N. Efimkin, M.B. Markov

THE SIMULATION OF SPURIOUS ELECTROMAGNETIC EMISSION AT THE MULTIPROCESSOR COMPUTING SYSTEMS

Abstract

The mathematical model of spurious electromagnetic emission of local informative network, the Cauchy problem for 3D Maxwell equations based on is represented. The techniques of input data assigning are investigated. The results of model calculation in the formulation of problem, which takes into account screened source and receiver of informative signal as well as ground connection, are represented. The space-temporal characteristics of electric field distribution took a possibility to draw a set of conclusions relative to the emission droop and the main sources.

Введение

Побочные излучения локальных информационных сетей (ПЭМИ) исследуются с целью предотвращения считывания информации приборами, не имеющими прямого механического контакта с элементами сети. Исследования проводятся как экспериментальными, так и расчетными методами [1].

Все существующие расчетные методы исследования излучений локальных информационных сетей основываются на приближениях для уравнений Максвелла [2] или решениях уравнений Максвелла в упрощенных постановках. Например, токи и напряжения в линиях связи определяются с помощью телеграфных уравнений, а излучения – с помощью теории антенных потенциалов [3]. Такие подходы совершенно оправданы в силу невозможности аналитического и сложности численного решения уравнений Максвелла в полной постановке. Для подавляющего большинства практически важных задач приближенные подходы дают исчерпывающий ответ с вполне достаточной точностью.

1 Электродинамическая модель излучения локальной информационной сети

Рассмотрим схему простейшей сети (Рисунок 1). В полупроводниковых

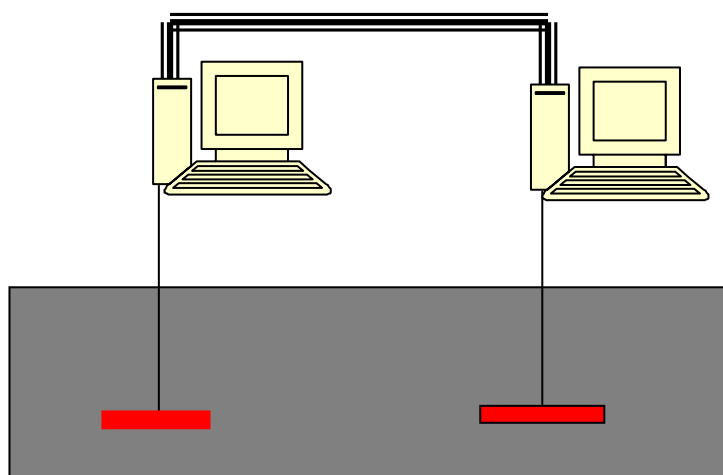


Рисунок 1 – Схема локальной сети

приборах, расположенных внутри системных блоков компьютеров, формируются информационные сигналы за счет сторонних электрических токов. Они создают электромагнитное поле, генерирующее ток проводимости во всех проводящих элементах сети: линии связи между компьютерами, кабелях заземления, проводящем грунте и металлических деталях компьютера. Излучателями электромагнитной волны являются не только линии связи, по которым передаются инфор-

мационные сигналы, но и все элементы, показанные на Рисунке 1.

Приближенное решение задачи об определении излучаемого такой системой электромагнитного поля строится, например, следующим образом. Грунт заменяется идеально проводящей поверхностью. Все остальные элементы заменяются рамкой с током проводимости. Строится приближенное решение одночастотного волнового уравнения для магнитного диполя с помощью принципа зеркального отражения. Ток в рамке определяется с помощью телеграфных уравнений в зависимости от типа кабеля.

Решение телеграфных уравнений определяется как свойствами кабеля, так и граничными условиями на его концах. Телеграфные уравнения для частот, используемых в сетях, с большой точностью справедливы вдали от концов

кабеля. На концах кабеля граничные условия ставятся из приближенных электрофизических соображений. Если излучение самого кабеля более существенно, чем излучение его концов, то такой подход оправдан. Например, в простой линии связи излучает вся длина кабеля, причем поле каждого прямого участка убывает обратно пропорционально расстоянию. В экранированной линии излучает оплетка, ток в которой определяется из телеграфных уравнений с граничными условиями, моделирующими реальное заземление. Поле двойной линии связи в ближней зоне убывает обратно пропорционально расстоянию, ток в ней также хорошо вычисляется с помощью телеграфных уравнений.

Приближение магнитного диполя не является приемлемым для ряда практически важных случаев. Например, толщина скин-слоя в сухом грунте для частот информационного сигнала порядка 100 МГц составляет величину порядка длины волны, а заземление может быть далеко не идеальным. Грунт имеет диэлектрическую проницаемость порядка десяти, что втрое изменяет в нем скорость распространения электромагнитных волн. Среда вблизи элементов локальной сети может иметь резко неоднородные электрофизические параметры, поскольку сети располагаются в зданиях, выполненных из материалов с реальной проводимостью.

В настоящее время стали широко использоваться витые пары. Излучение прямого участка симметричной витой пары, состоящей из четырех проводников, спадает обратно пропорционально кубу расстояния, что и является одним из основных ее достоинств. Излучение такой системы, в отличие от рассмотренных выше, практически полностью определяется подключением кабеля. Приближение телеграфных уравнений здесь не применимо.

Таким образом, в ряде практически важных случаев использование приближенных методов для расчетов излучения локальной информационной сети не допустимо. Актуальным представляется математическое моделирование излучения, основанное на постановке и численном решении полной системы уравнений Максвелла, использующей в качестве исходных данных:

распределение проводимости, диэлектрической и магнитной проницаемости, определяемые конструкцией сооружения, окружающей средой и топологией информационной сети;

распределение плотности стороннего тока в генераторе информационного сигнала.

Рассмотрим уравнения Максвелла:

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \varepsilon \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} (\sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}), \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\mu \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

где $\mathbf{E}$ – электрическое поле, $\mathbf{H}$ – магнитное поле, $\varepsilon \equiv \varepsilon(\mathbf{r})$ – диэлектрическая проницаемость, $\mu \equiv \mu(\mathbf{r})$ – магнитная проницаемость, $\sigma \equiv \sigma(\mathbf{r})$ – проводимость, $\mathbf{j}$ – сторонний электрический ток.

Численный алгоритм решения задачи Коши с однородными начальными данными с помощью явной разностной схемы «крест» представлен в [4]. Там

же рассмотрены основные принципы программной реализации алгоритма на параллельных ЭВМ. Заметим, что создание такой модели и успешное применение реализующего ее программного обеспечения в настоящее время возможно за счет бурного развития параллельных супер-ЭВМ. Рассмотрим преимущества такого подхода.

1. Уравнения Максвелла с нулевыми начальными данными представляют собой корректно поставленную задачу. Точность уравнений доказана многими десятилетиями их успешного использования в самых различных отраслях науки и техники. Решение уравнений устойчиво к возмущениям правой части и распределения проводимости среды. Все это означает сглаживание возмущений решения при приближенном задании исходных данных.
2. Устраняется необходимость использования разнородных приближений – квазистационарности (телеграфные уравнения) или электропрозрачности среды (антенные потенциалы) при решении единой задачи. Например, при вычислении тока по оплетке коаксиального кабеля в модели телеграфных уравнений медь рассматривается как среда с высокой проводимостью. После задания тока при расчете излучения магнитного диполя или антенны кабель считается непроводящим. Это приводит к искажению фронта излучения вблизи кабеля.
3. Возникает возможность моделирования реальных сетей, включающих не только прямые кабельные линии.

Полная трехмерная параллельная электродинамическая модель не только не исключает приближенные методы, но даже не конкурирует с ними. Даже при существующем уровне развития вычислительной техники суммарная оперативная память доступного суперкомпьютера МВС-15000 [5] позволяет описывать сооружение и размещенную в нем локальную сеть как излучатель, заданный не более чем десятью миллиардами точек.

Электродинамическая модель не конкурирует также с измерениями интенсивности ПЭМИ приборами при оценке защищенности конкретных сетей. Это связано с тем, что уравнениям Максвелла необходимо полностью детерминированное задание исходных данных. При этом даже параметры заземления в конкретном сооружении зачастую не известны.

Применение электродинамической модели оправдано в сложных ситуациях. В некоторых случаях измерения либо не возможны, либо требуют слишком больших затрат. Пусть при этом с достаточной точностью известны:

- схема заземления,
- схема прокладки линий связи локальной информационной сети;
- расположение генераторов информационного сигнала;
- геометрия и материалы здания;
- влажность и характер грунта;
- расположение проводящих элементов здания и внутренней обстановки.

Тогда электродинамическая модель существенно упрощает организацию защиты от считывания информационного сигнала. Расчет способен выявить линии уровня сигнала характерной частоты. За счет этого возможно:

на заданном расстоянии от источника выделить точки, в которых достигается максимум излученного сигнала и ограничиться ими при измерениях;

определить реальный характер спада уровня излученного информационного сигнала по мере удаления от генератора;

сформулировать рекомендации по расположению элементов сети относительно проводящих элементов конструкции здания и внутренней обстановки.

Параллельная программа, реализующая схему «крест», является достаточной основой для полной электродинамической модели излучений локальной информационной сети. Исходными данными для этой программы являются пространственные распределения диэлектрической и магнитной проницаемости и проводимости, заданные на разностной сетке. Количество узлов разностной сетки должно быть, с одной стороны, достаточно для описания распределений этих величин в элементах сети, здании, в котором она расположена, и окружающей среде. С другой стороны, оно должно соответствовать оперативной памяти доступной вычислительной системы. Тогда, задав источник информационного сигнала, можно определить распределение излучаемого им электромагнитного поля во всех точках разностной сетки в любой момент времени.

2 Задание информационного сигнала

Априорно возможны два способа задания источника информационного сигнала.

Первый способ состоит в явном задании тока проводимости в проводящих элементах линий связи информационной сети. Такой способ является традиционным для таких задач и используется в теории антенн. Реализуется он следующим образом. Выявляются точки сетки, соответствующие жилам кабелей линий связи. В каждой из этих точек для расчетной программы непосредственно задается зависимость плотности тока от времени.

Серия расчетов выявила как технические сложности реализации такого способа, так и принципиальные физические ограничения. Все они связаны с тем, что реальный ток в проводнике является не сторонним током, а током проводимости, который образуется электрическим полем.

Прямое задание тока означает, что сумма тока проводимости и плотности стороннего тока задается суммарной плотностью тока $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}$.

Очевидное преимущество такого подхода заключается в том, что величину $\mathbf{J}$ можно измерять в любой доступной точке линии связи. Однако это преимущество полностью перечеркивается недостатками, следующими из уравнений Максвелла. Во-первых, эту величину невозможно ни задать, ни измерить в толще грунта и заглубленных цепях заземления. В толще грунта ток $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}$ приходится обрывать, что приводит к накоплению электрического заряда и формированию нефизичного потенциального электрического поля. Это поле имеет ту же частоту, что и излучаемое. Поэтому излучаемое поле существенно искажается. В точках, соответствующих жилам кабелей и, особенно, в точках их поворотов также накапливается потенциальное электрическое поле, что принципиально изменяет его характер. Действительно, жила кабеля, выполнен-

ная из меди с проводимостью $\sigma = 10^{18}$ 1/сек является практически идеальным проводником. Электрическое поле внутри него не только не превышает, а неизмеримо мало по сравнению с электрическим полем даже в дальней зоне.

Указанные проблемы связаны с некорректным изменением, внесенным преобразованием $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}$ в уравнения Максвелла. Электрическое поле, создающее ток проводимости $\sigma \mathbf{E}$ в медной жиле, определяется всей совокупностью исходных данных задачи. В результате решение неустойчиво зависит от погрешности задания исходных данных.

Преодолеть эти трудности оказалось возможным за счет «физического» задания тока. Сторонний ток задается там, где он реально присутствует. Линии связи задаются как реальные проводники. Если уравнения Максвелла с такими исходными данными решаются правильно, то адекватный ток проводимости в линиях возникает автоматически.

Существенно, что генератор информационного сигнала действительно является источником стороннего тока. Примером является любой полупроводниковый прибор, в котором течет ток электронов или дырок. Создающееся при этом электромагнитное поле не влияет на генерирующий его ток, поскольку плазменная частота свободных электронов в полупроводнике мала по сравнению с частотой столкновений. В качестве стороннего тока может рассматриваться электронный пучок в электронно-лучевой трубке. Он управляется усиленным за счет напряжения питания информационным сигналом. Однако сам информационный сигнал исказить его не способен из-за малой интенсивности.

Заметим, что ток проводимости в металле тоже создается движением свободными электронами. Концентрация свободных электронов в металле настолько велика, что соответствующая плазменная частота существенно превосходит частоту столкновений. Электрическое поле в такой среде вызывает смещение электронов и гасится током проводимости.

Рассмотрим «физическое» задание тока для расчетной программы. В ячейках сетки, соответствующих жилам кабелей линий связи, задается их реальная проводимость. Плотность стороннего тока задается в ячейке, соответствующей генератору информационного сигнала.

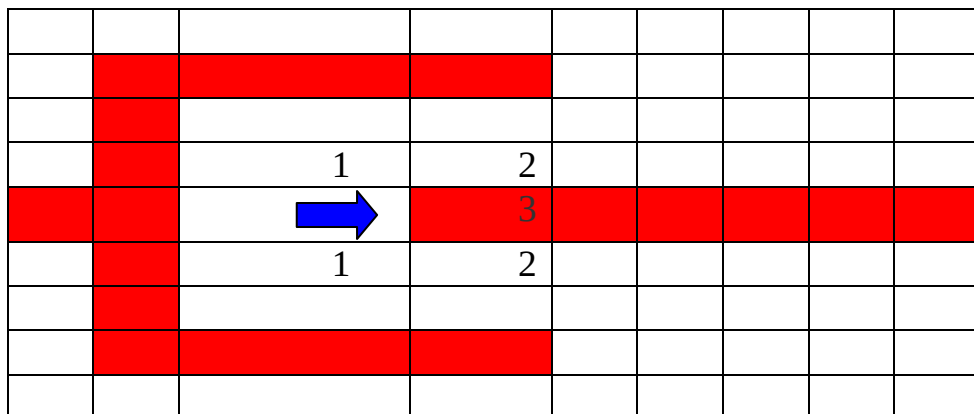


Рисунок 2 – «Физическое» задание тока на разностной сетке

На Рисунке 2 таблицей представлена схема разностной сетки. Темные ячейки таблицы соответствуют металлу, ячейка со стрелкой – генератору информационного сигнала – плотности тока. Данная конструкция может рассматриваться как «батарейка» в металлическом корпусе, создающая переменный электрический ток. Корпусу соответствуют темные ячейки вокруг ячейки с плотностью тока. Справа от ячейки с плотностью тока расположена жила кабеля с информационным сигналом, слева от корпуса – жила кабеля заземления.

Расчеты подтвердили физический механизм образования тока проводимости в жиле информационного кабеля. Ток создает электрическое поле в своей ячейке в направлении информационного кабеля. Это поле создает перпендикулярное плоскости Рисунка магнитное поле в ячейках 1 и 2. Магнитное поле в ячейках 2 создает электрическое поле E и ток проводимости σE в ячейке 3. На грани между ячейками 1 и 3 плотность электрического тока терпит разрыв. Это, в соответствии с законом непрерывности заряда, означает, что в ячейке 3 образуется некомпенсированный электрический заряд, который постепенно распределяется по поверхности всех проводников, имеющих гальваническую связь с этой ячейкой. В жиле кабеля возникает ток проводимости. По поверхности корпуса батарейки и жиле кабеля заземления также возникает ток проводимости. Он распределяется по поверхности заземления и в толще грунта.

Для количественного описания тока проводимости можно использовать две величины циркуляцию магнитного поля вокруг кабеля, или тангенциальную к его поверхности компоненту электрического поля, умноженную на проводимость (собственно ток проводимости).

Второй вариант дает более наглядное представление о том, как происходит перераспределение заряда. Исследование зависимости тангенциального поля от времени вблизи от батарейки показало, что постепенно в проводнике устанавливается стоячая волна. Если ток проводимости задается явно, то все время сохраняется бегущая волна.

Серия расчетов для «физического» аналога магнитного диполя, схематически показанного на Рисунке 3

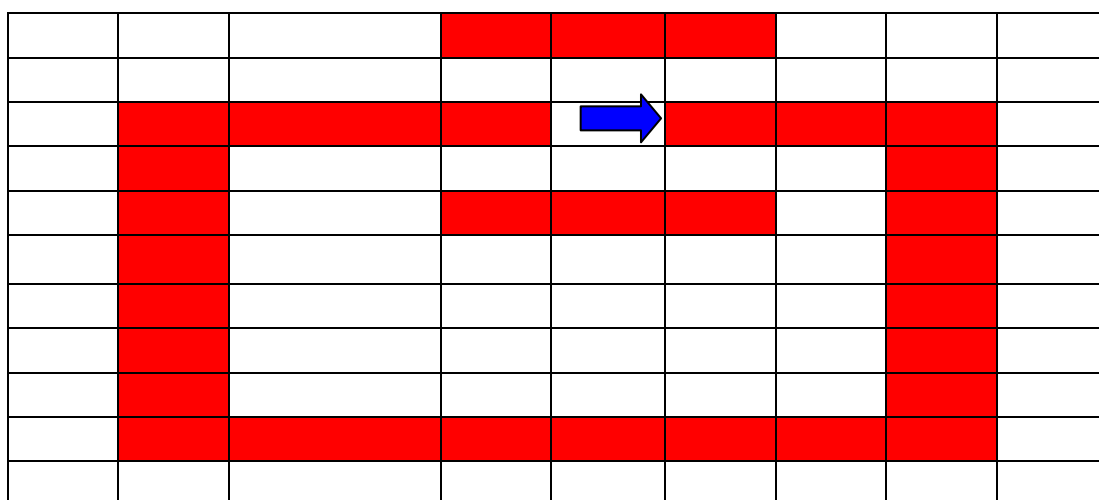


Рисунок 3 – Магнитный диполь

показала, что установление стоячей волны сопровождается излучениями с частотами собственных колебаний проводящей системы. Если частота генератора близка к одной из них, возникают резонансные колебания.

Опыт тестовых расчетов, проведенных для обоснования способа задания стороннего тока и исследования формирования тока проводимости, показал, что такие объемы вычислений не могут реализовываться на последовательной вычислительной технике. Простейшие из отладочных расчетов требовали суток на персональном компьютере с тактовой частотой 3 ГГц и использовали порядка 1 Гб оперативной памяти. Для адекватного описания кабелей сетка должна быть достаточно мелкой. Характерный поперечный размер жилы кабеля требует шага сетки в своей окрестности 0.1 сантиметра. Характерные длины волн излучения информационного сигнала в сетях со скоростью передачи данных порядка 100 Мбит составляет величину порядка 3 метров. Размеры зданий, в которых они размещаются, составляют десятки и сотни метров. Использование неравномерной сетки позволяет увеличивать ее шаг в волновой зоне, однако условие Куранта, соблюдение которого необходимо для устойчивости схемы крест, диктует жесткое ограничение шага по времени. Это резко увеличивает продолжительность расчета. Расчет необходимо вести до тех времен, на которых колебания полей устанавливаются во всей расчетной области. Поэтому использование электродинамической модели возможно только на многопроцессорных вычислительных системах.

3 Пример практического расчета

Два прибора («приемник» и «передатчик») соединены проводом (жилой информационного кабеля). Внутри приемника находится «батарейка», которая задает переменный ток с частотой 10^8 Гц. Корпусы обоих приборов заземлены. Этот набор исходных данных грубо моделирует сеть, состоящую из двух системных блоков. Приемник и передатчик представляют собой полые металлические кубы с ребром 1 метр. Внутри передатчика расположена «батарейка», создающая ток проводимости в двух проводниках (Рисунок 4). Один из них через отверстие в корпусе идет к приемнику, также через отверстие входит внутрь и соединяется с корпусом. Второй соединен с корпусом приемника. Провод имеет толщину 0.5 мм. Отверстия имеют ширину 2 см, высоту 0.6 см. Провод имеет длину 11 метров. Оба корпуса с помощью таких же проводников соединены с заземлениями, расположенными в грунте с проводимостью 10^6 1/сек. Расстояние от приборов до грунта составляет 4 метра. Заземления расположены в метре под поверхностью грунта.

Начало системы декартовых координат $\mathbf{r} = (x, y, z)$ расположено в середине провода, ось z направлена по направлению нормали к поверхности грунта, ось x – вдоль провода от передатчика к приемнику.

На Рисунке 4 представлена схема расчета, на которой источники информационного сигнала обозначены стрелками.

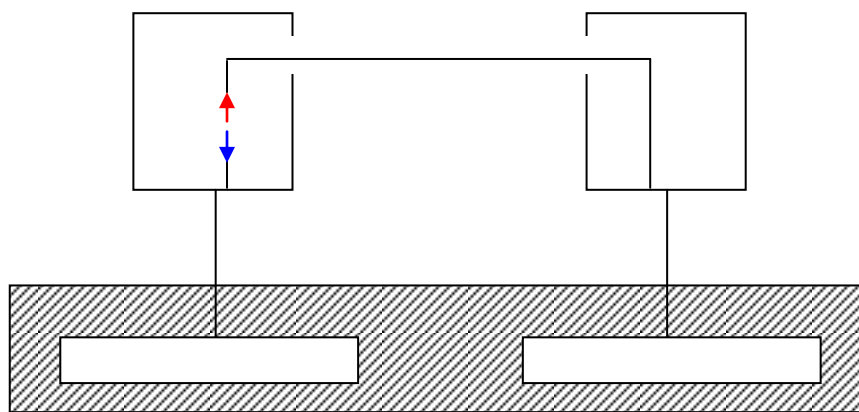


Рисунок 4 – Схема расчета

Расчет проводился в двух вариантах. В первом приборы соединялись одним проводом, во втором – двумя параллельными проводами. Ток в параллельных проводах создавался «батарейками», работающими в противофазе.

В тестовом расчете пространственная сетка имеет размер $250 \times 100 \times 210$ точек, а сетка по времени – 150000 точек (для расчета до $3 \cdot 10^{-7}$ сек). Расчет на 85 процессорах занимает около суток.

На графиках ниже приведены линии уровня модуля электрического поля в горизонтальной плоскости, проходящей через провод. Рисунок 5 соответствует одному проводу, Рисунок 6 – двум.

Приходится признать, что выбор способа подключения не удачен. Две «батарейки», работающие рядом в противофазе, существенно компенсируют свои излучения в дальней зоне. Это усложняет сопоставление результатов

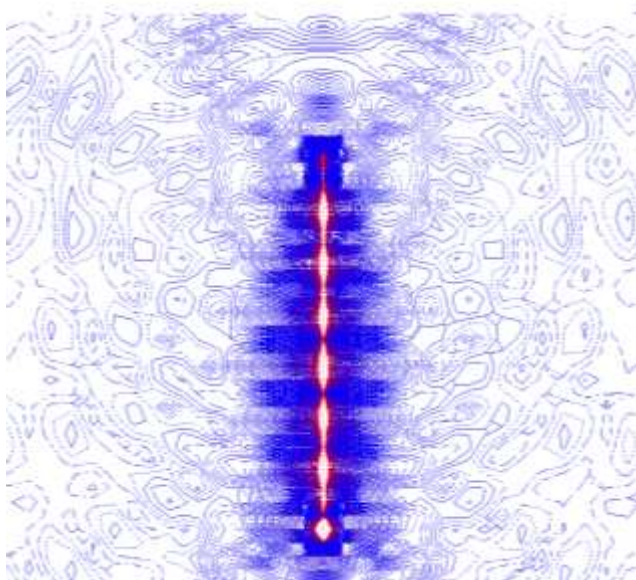


Рисунок 5

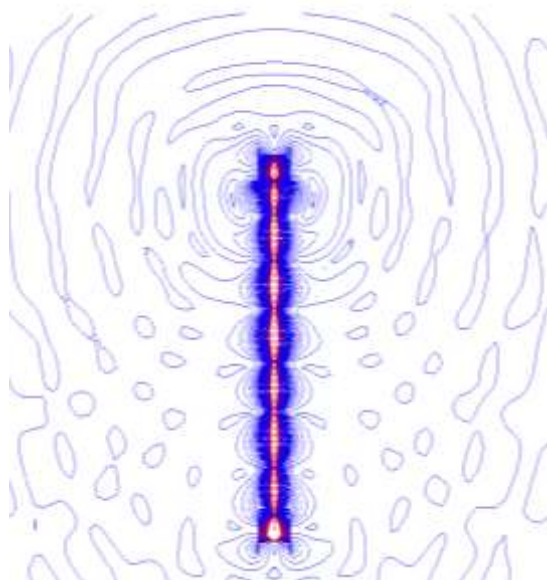


Рисунок 6

Тем не менее, из графиков на Рисунках 5-6 очевидно следующее. Излучение одного провода на порядок интенсивнее излучения двух проводов. Форма линий уровня в горизонтальной плоскости, содержащей приемник и передатчик, свидетельствует о том, что вклад линии связи в общее излучение системы существенно выше для случая однопроводного кабеля.

На всех рисунках, отображающих линии уровня, светлые области вблизи проводников соответствуют самым большим значениям электрического поля.

Аналогичные выводы можно сделать из линий уровня в вертикальной плоскости, проходящей через все провода:

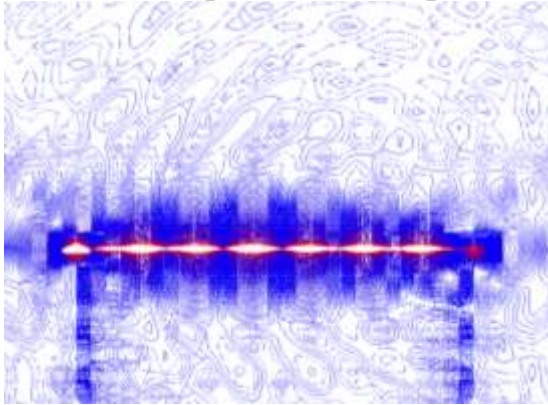


Рисунок 7 – Однопроводная линия

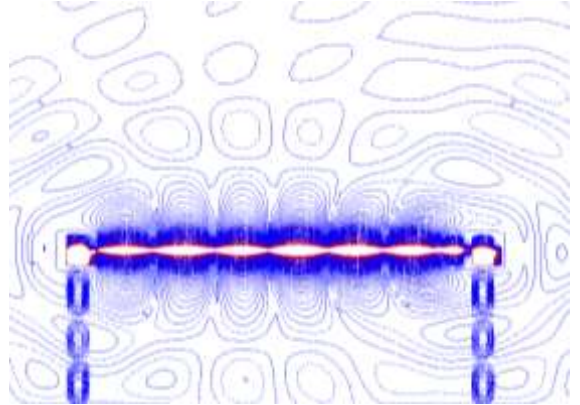


Рисунок 8 – Двухпроводная линия

Важной характеристикой, которую используют при анализе ПЭМИ, является спад модуля напряженности электромагнитного поля с расстоянием [6]. Расчет показал, что амплитуда электрического поля с расстояния в плоскости, перпендикулярной информационному кабелю, на малых расстояниях для однопроводной линии убывает как $1/r$. Для двухпроводной линии амплитуда убывает быстрее $1/r$, но медленнее, чем $1/r^2$. На больших расстояниях поле однопроводной линии убывает как $1/r$, двухпроводной – как $1/r^2$.

Наиболее интересным с практической точки зрения является распределение напряженности электрического поля в плоскости, совпадающей с поверхностью грунта. Здесь линии уровня различаются существенно как по форме, так и по значениям. Для двухпроводной линии они представлены на Рисунке 9. В основном заметно излучение генератора и приемника. Картина похожа на результат интерференции почти круговых волн, распространяющихся вокруг проводов, ведущих к заземлениям:

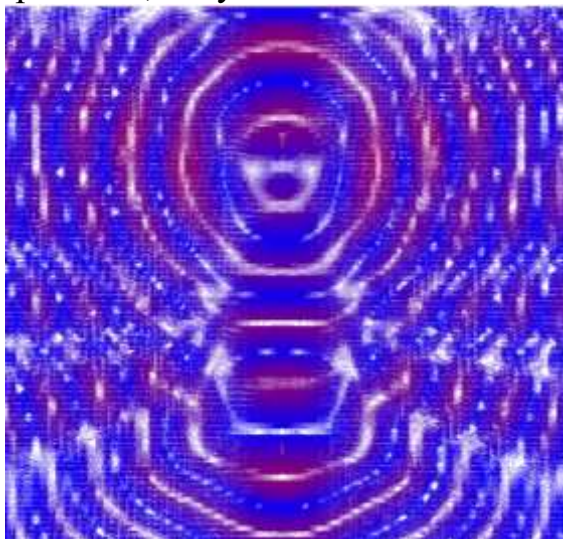


Рисунок 9

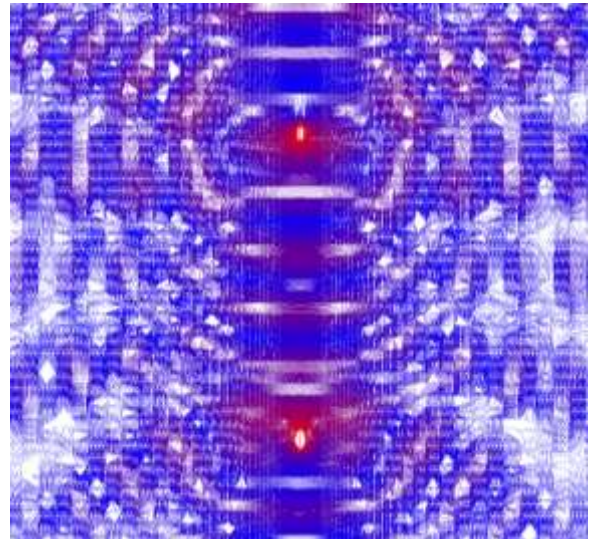


Рисунок 10

В случае однопроводной линии провода больше заметно излучение от провода. Линии уровня вытянуты в вертикальном направлении (Рисунок 10):

Следующий расчет проведен для линии, выполненной на основе неэкранированной витой пары. Рассмотрим рисунки, поясняющие геометрию расчета

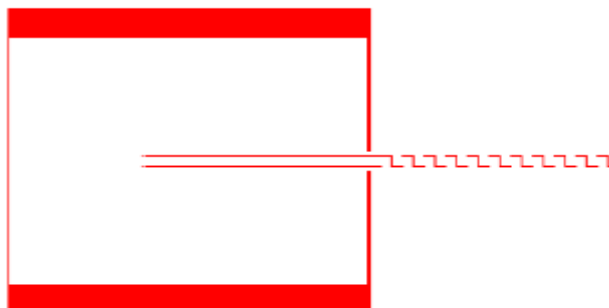


Рисунок 11

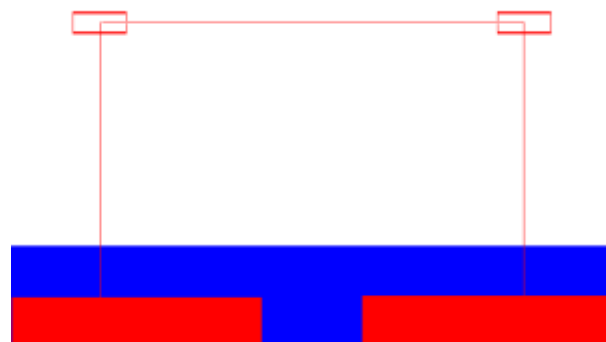


Рисунок 12

На Рисунке 11 изображен участок витой пары внутри передатчика (вид сверху). Маленький разрыв в проводах слева – «батарейки». На Рисунке 12 показана расчетная область (вид сбоку). Выделены проводники и грунт.

Рассмотрим некоторые результаты расчетов.

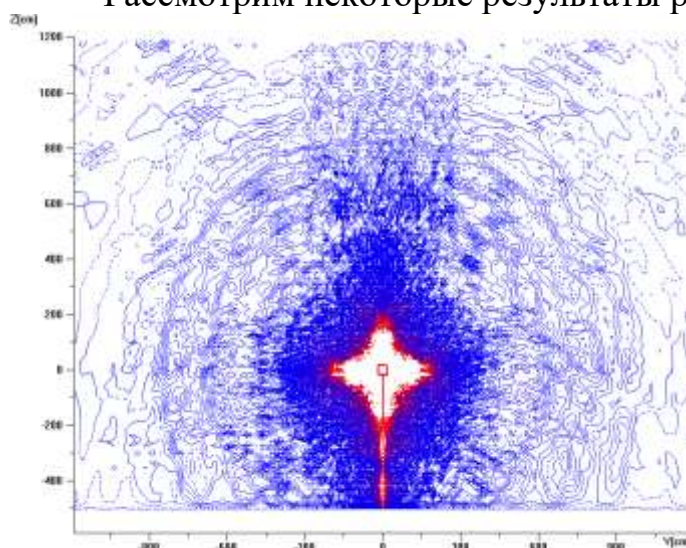


Рисунок 13

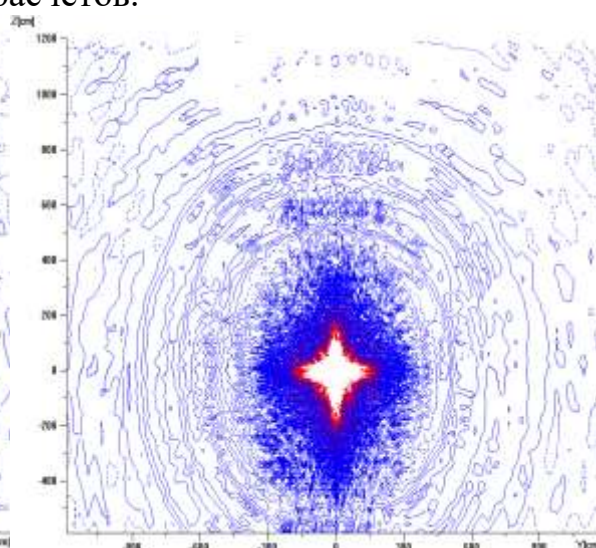


Рисунок 14

На рисунках 13 и 14 представлены линии уровня напряженности электрического поля в плоскости, перпендикулярной поверхности грунта и линии связи передатчик-приемник. Рисунок 13 соответствует приемнику, Рисунок 14 – середине линии связи. Светлые участки в окрестности кабеля здесь и далее соответствуют максимальному значению поля.

На Рисунке 15 представлены линии уровня напряженности электрического поля в плоскости Рисунка 12, а на Рисунке 16 – в плоскости грунта.

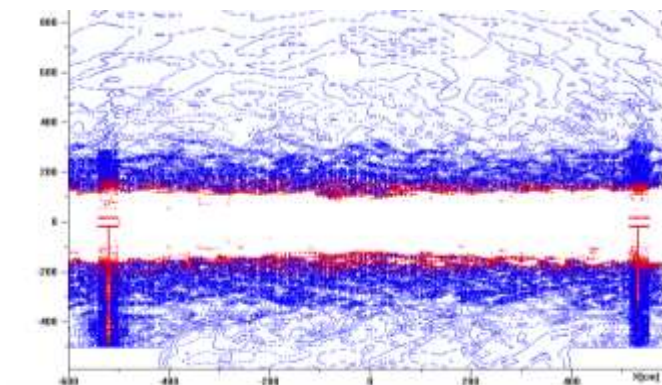


Рисунок 15

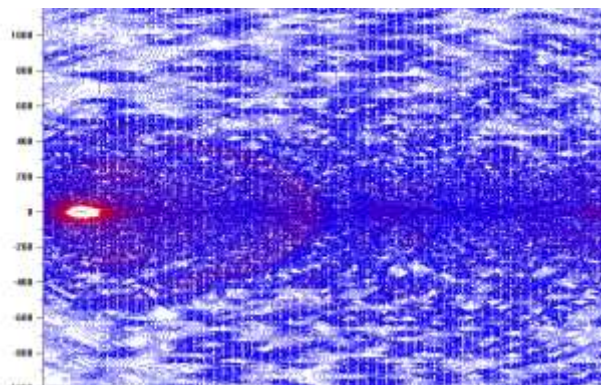


Рисунок 16

Спад электрического поля иллюстрируют следующие графики.

Рисунок 17 представляет зависимость модуля электрического поля от расстояния по оси z от передатчика, Рисунок 18 – от середины линии связи, Рисунок 19 – от приемника. Сплошные линии на графике соответствуют расчету с витой парой, штриховые – двойному проводу, штрихпунктирные – одинарному. Расстояния приведены в сантиметрах, амплитуды нормированы на единицу. На Рисунках 20 – 22 представлены аналогичные зависимости для случая, когда расстояние отсчитывается по оси y в горизонтальном направлении.

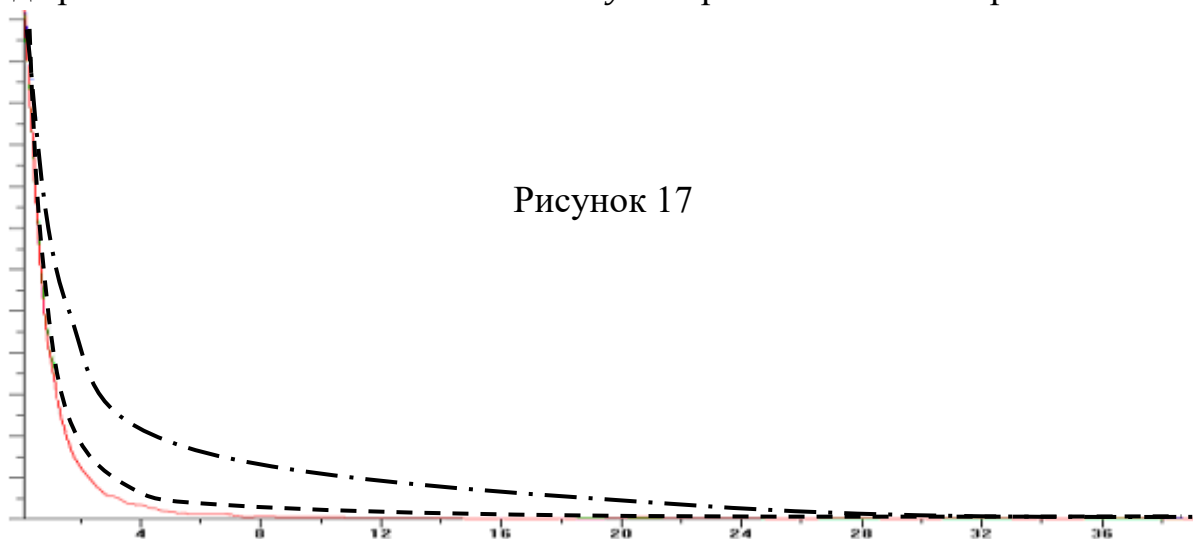


Рисунок 17

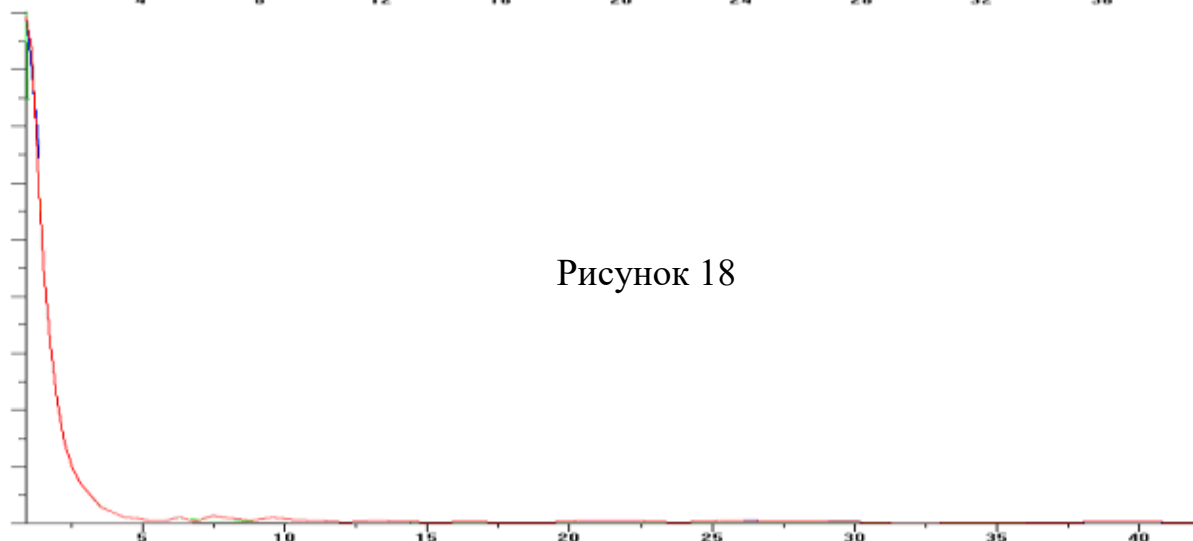


Рисунок 18

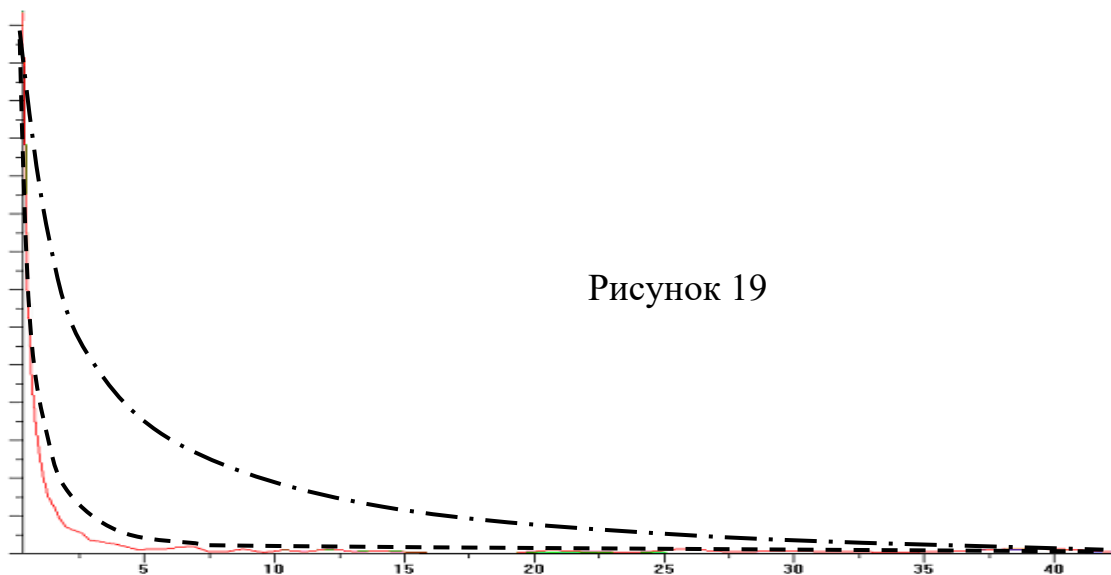


Рисунок 19

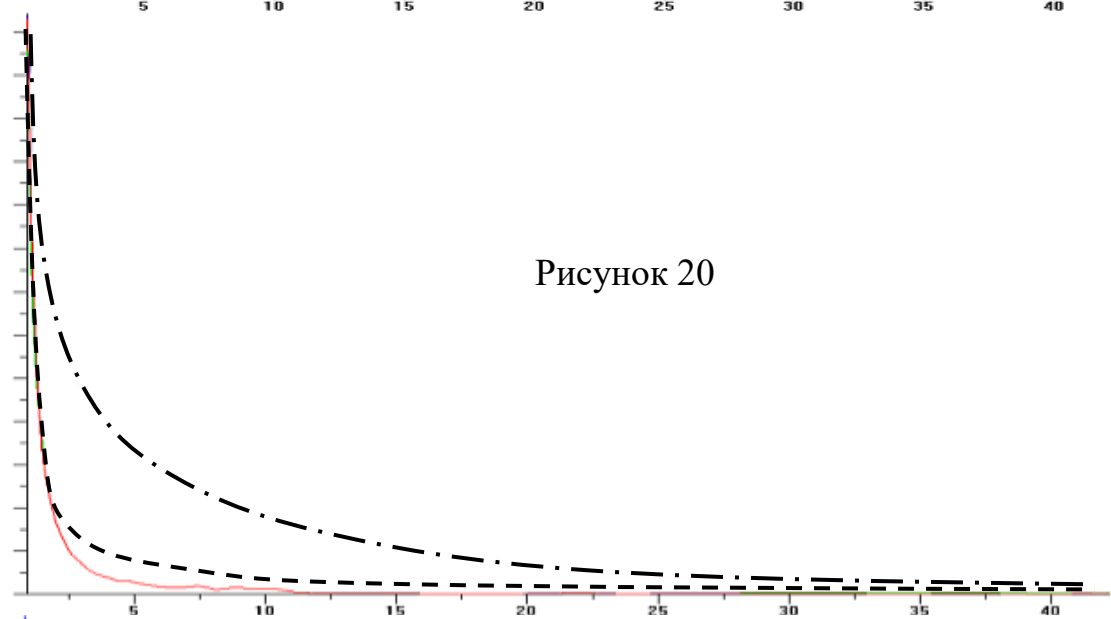


Рисунок 20

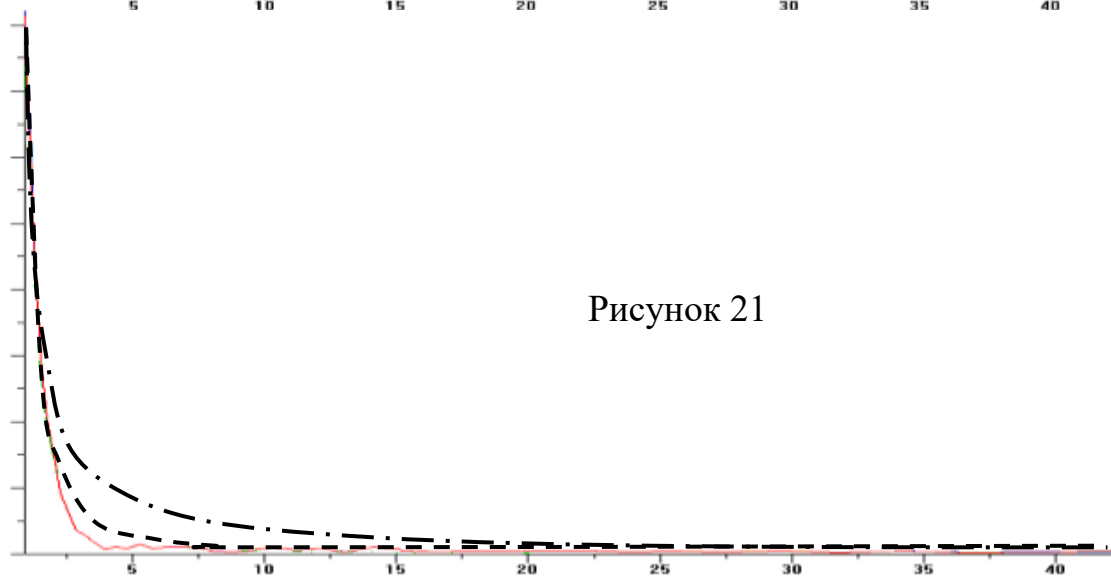


Рисунок 21

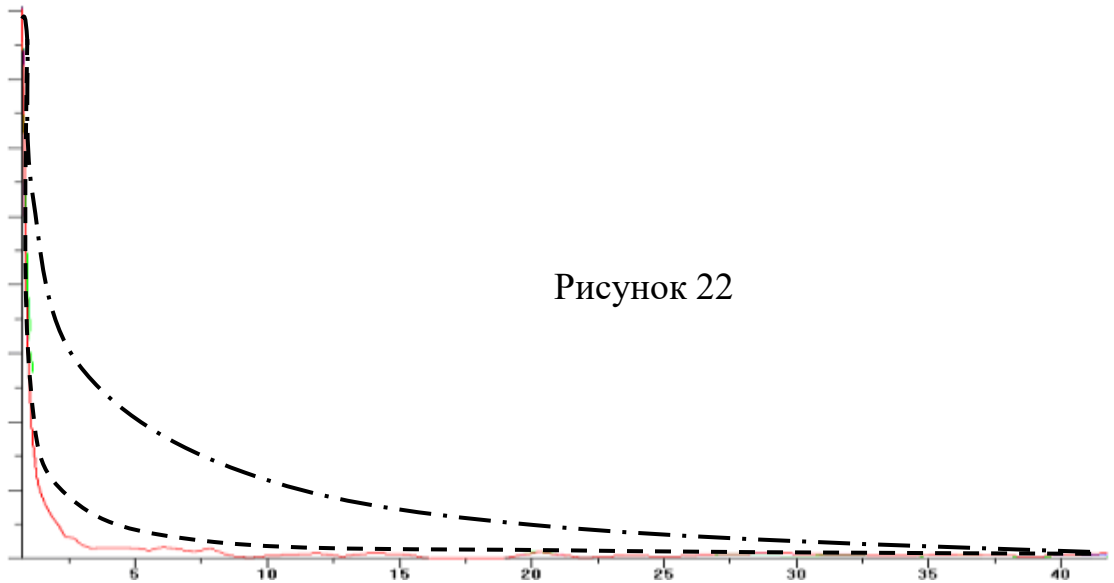


Рисунок 22

На больших расстояниях спад представлен графиками зависимости электрического поля от расстояния в фиксированный момент времени. Расстояние отсчитывается по оси y на поверхности грунта от середины линии связи (Рисунок 23), передатчика (Рисунок 24) и приемника (Рисунок 25).

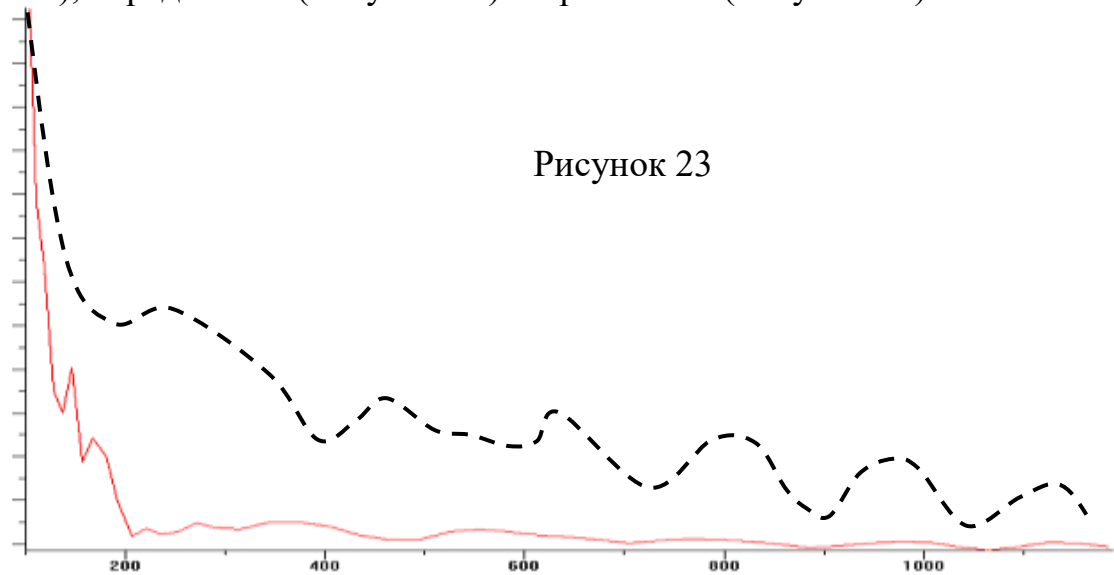


Рисунок 23

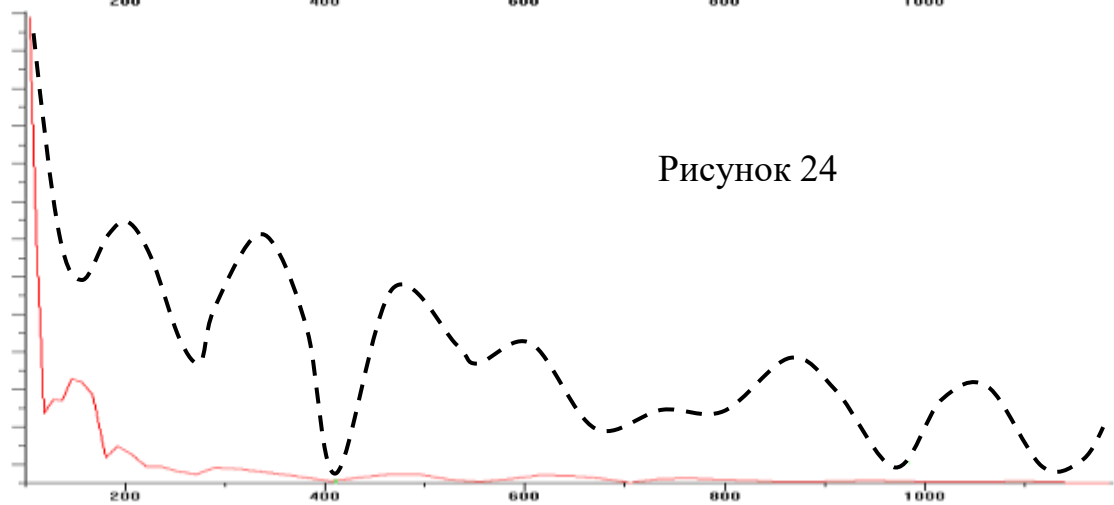


Рисунок 24

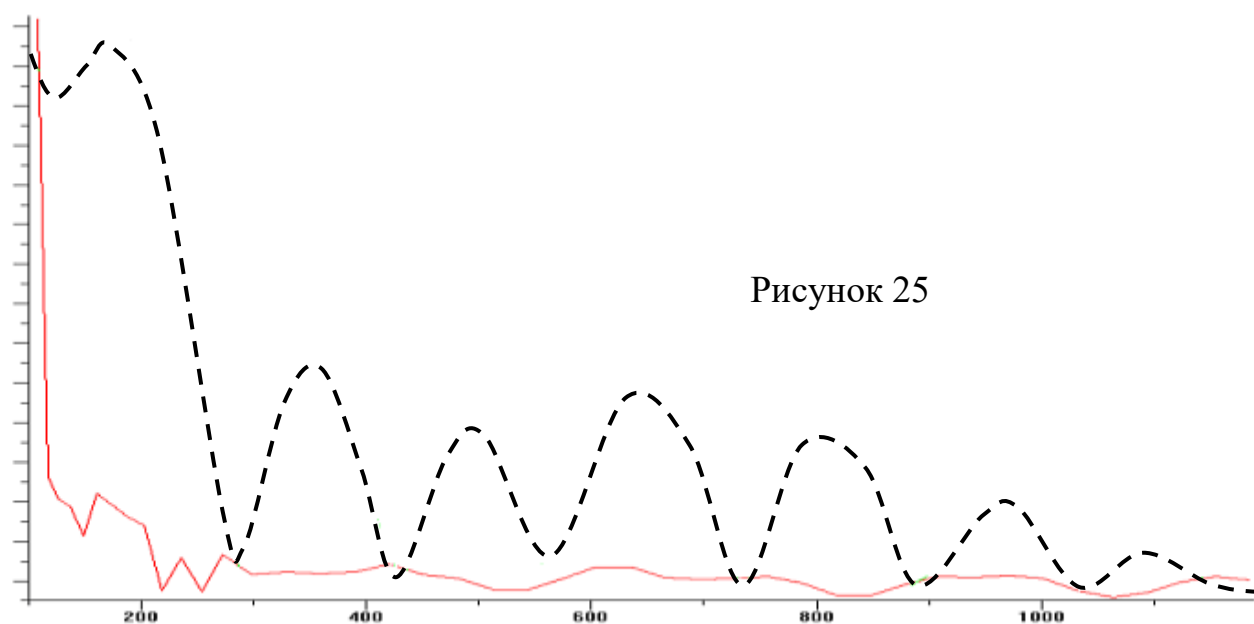


Рисунок 25

Заключение

Электродинамическая модель ПЭМИ информационно-вычислительных сетей применима для расчетов, если выполнены следующие условия.

Во-первых, топология сети, геометрия здания, в котором она размещена, параметры заземления и электрофизические характеристики окружающего пространства известны с достаточной точностью.

Во-вторых, доступна мощная параллельная вычислительная система.

Электродинамическая модель применима для проверки путем оценочных расчетов приближенных принципов, используемых при оценке ПЭМИ. Например, считается, что излучение спадает пропорционально кубу расстояния в ближней зоне источника, квадрату – в промежуточной зоне и первой степени – в дальней зоне. Такое утверждение может быть уточнено для конкретной сети.

Проведенные расчеты показывают, что актуальным является излучение собственно приемников и передатчиков информационного сигнала. Как источники излучения, они в ряде случаев могут оказаться опаснее линий связи.

Литература

1. В.А. Герасименко, А.А. Малюк. Основы защиты информации М.: МИФИ, 1997.

2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. – М.:Наука, 1976

3. Я.П. Терлецкий, А.П. Рыбаков. Электродинамика. – М.: Высшая школа, 1980.

4. А.Н. Андрианов, А.В. Березин, А.С. Воронцов, К.Н. Ефимкин, М.Б. Марков. Моделирование электромагнитных полей радиационного происхождения на многопроцессорных вычислительных системах. – Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, №74, 2006.

5. <http://www.jscc.ru/>

6. С.В. Горячев. Об исследованиях закона убывания электромагнитного поля в реальных условиях эксплуатации. – «Специальная техника» №1 2002, http://st.ess.ru/publications/1_2002/goryachev/goryachev.htm/