

УДК 621.396

Компьютерное моделирование затухания в радиоканале с подвижным пунктом связи на пересеченной местности

Лабзина Е.А., Гаврилов В.М., Никитин О.Р.

В работе представлены результаты компьютерного моделирования затухания в радиоканале с подвижным пунктом связи на пересеченной местности. Проведена оценка выбора чувствительности приемника на трёхкилометровой трассе, достаточной для надежной радиосвязи.

Ключевые слова: радиоканал, компьютерное моделирование, подвижный пункт связи, пересеченная местность, ПО ФЕКО, панельная двухэлементная Z-антенна.

Введение

Применение средств компьютерного электродинамического моделирования, предназначенных для решения широкого круга задач, связанных с проектированием СВЧ устройств и антенн, рассеянием электромагнитных волн на сложных объектах и распространением радиоволн в городских условиях, получило широкое распространение в связи с развитием мобильных радиосистем.

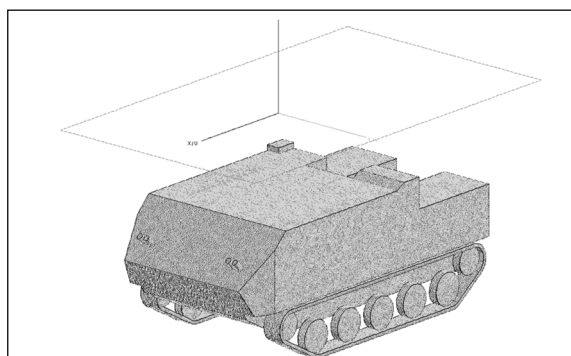
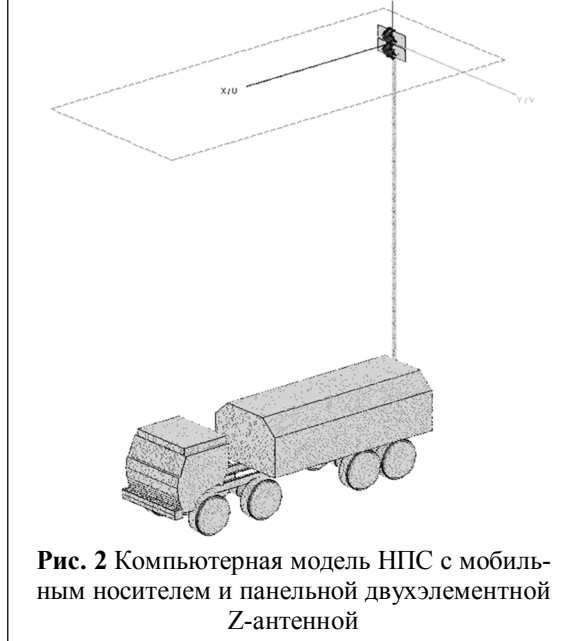
Основные задачи, рассмотренные в данной статье, направлены на:

- 1) сравнительный анализ ЭМП, формируемого неподвижным пунктом связи (НПС) на равнинно-холмистой местности с различным перепадом высот;
- 2) расчет ослабления в радиоканале с приемной антенной подвижного пункта связи (ППС), перемещающегося в заданном направлении относительно НПС;
- 3) оценку выбора чувствительности приемника на трёхкилометровой трассе, достаточной для надежной радиосвязи.

Разработка компьютерной модели и результаты ее использования

С помощью программы «ФЕКО» [1], [2] разработана компьютерная модель с двумя пунктами связи: фиксированным и подвижным, расположенными на равнинно-холмистой земной поверхности. НПС оборудован на базе автомобиля «КАМАЗ» (рисунок 2) и оснащен панельной двухэлементной z-антенной, устанавливаемой на телескопической мачте высотой 12, 15 и 18 метров. ППС реализован на базе БМД-3 (рис. 1) и

включает всенаправленную вибраторную антенну, фазовый центр которой расположен на высоте 1320 мм над поверхностью транспортера. Моделирование проведено на частоте 570 МГц при мощности излучения 10 Вт.

**Рис. 1** Компьютерная модель НПС**Рис. 2** Компьютерная модель НПС с мобильным носителем и панельной двухэлементной Z-антенной

Была разработана компьютерная модель фрагмента земной поверхности 4x4,5 км (рис. 3) с заданными характеристиками рельефа: равнинно-холмистая местность с мак-

симальным перепадом высот 30 и 60 метров. На фрагменте местности были проложены три маршрута движения ППС относительно неподвижного: центральный и два боковых, смещенных относительно центрального на угол ± 30 градусов (рис. 4). Положение ППС на маршрутах задавалось дискретно с шагом 100 метров и максимальным удалением 3 км. Полагалось, что при движении ППС его шасси плавно огибает неровности земной поверхности и в каждый момент времени верхняя часть корпуса с установленной над ней антенной оказывалась параллельной плоскости, касательной к неровности в данной точке.

Для ускорения вычислительного процесса и контроля достоверности результатов рельеф предполагается расположенным симметрично относительно центральной трассы, для которой неровности задавались слабовыраженными с перепадом меньше максимального

го. На боковых трассах ряд точек попадал в область с максимальным перепадом высот.

Для получения общего представления о распределении поля на местности для каждого варианта подвеса передающей антенны НПС и максимального перепада высот проведено компьютерное моделирование для фиксированного момента времени распределения ЭМП в горизонтальной плоскости, проходящей через фазовый центр панельной антенны НПС. Во всех случаях распределение поля хорошо коррелирует с рельефом подстилающей поверхности, формируя специфические по конфигурации области максимальной интенсивности. Высота подвеса антенны НПС определяет в горизонтальной плоскости «освещенные» области с установленным распределением поля и области, образованные сечением возвышенностей горизонтальной плоскостью, в которых методом ГТД [1], [2] поле не определяется.

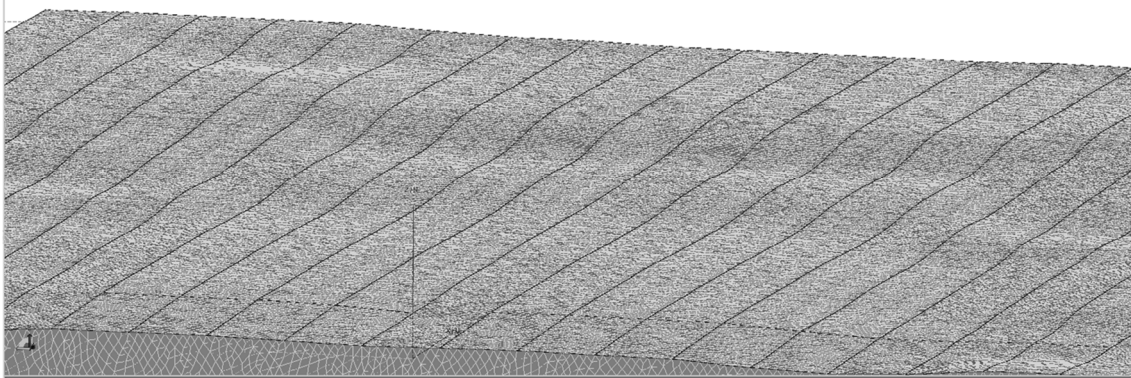


Рис. 3 Компьютерная модель фрагмента земной поверхности площадью 4x4,5 км для равнинно-холмистой местности

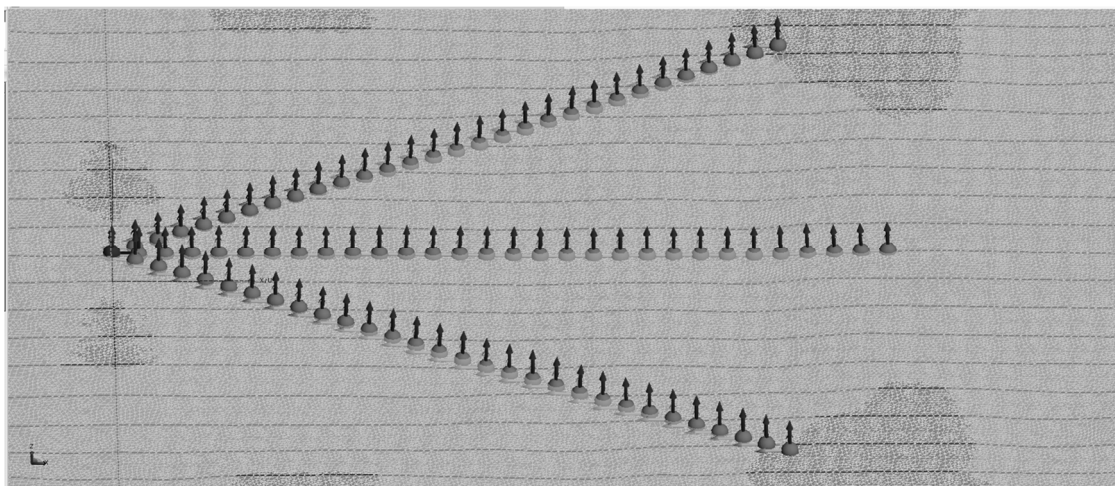


Рис. 4 Дискретные положения ППС для каждого из трех направлений с шагом 100 метров

Наибольший прикладной интерес представляет расчет поля на выходе приемной антенны ППС в процессе его удаления от неподвижного по одной из трех выделенных трасс. Программа «ФЕКО» позволяет выполнить расчет мощности на выходе антенны ППС для фиксированного положения относительно НПС на заданной частоте (570 МГц). Проведя подобные расчеты для 29 равномерно распределенных точек на трех километровом участке выделенных трасс, были построены зависимости мощности на выходе антенны движущегося объекта от расстояния, заданного дискретным множеством точек с шагом 100 метров. Для различных вариантов высоты подвеса антенны НПС и перепада высот местности указанные зависимости носят осциллирующий характер. Для каждого положения ППС на местности мощность принимаемого сигнала зависит

от многих факторов, в том числе от взаимной ориентации антенн линии связи, многолучевости, дифракционных явлений на неровностях местности и т.п. Поэтому закономерность зависимостей может быть установлена при анализе среднего значения мощности, полученного для ряда последовательных положений ППС на трассе. При оценке среднего значения принимаемой мощности для каждой трассы (29 положений) из полученного множества значений исключались одиночные наибольшее и одиночные минимальные значения, выходящие за пределы максимального отклонения для множества. Эти два значения рассматривались как отдельные параметры полученных закономерностей.

Результаты обработки зависимостей мощности на выходе приемной антенны ППС от расстояния до НПС для различных вариантов задачи представлены в табл. 1, 2.

Табл. 1 Перепад высот 30 метров, частота 570 МГц, мощность излучения 10 Вт

Высота подвеса, м	аномальные значения								
	$P_{cp} \pm \Delta P$, дБВт			P_{max} , дБВт			P_{min} , дБВт		
	-30°	0°	30°	-30°	0°	30°	-30°	0°	30°
12	-58 ±12,8	-57,5 ±13,0	-58,6 ±13,1	-43,0	-43,0	-42,0	-71,5	-73,0	-72,0
15	-51,5 ±9,9	-45,3 ±9,3	-53,3 ±11,8	-40,0	-33,5	-39,5	-71,0	-65,5	-76,2
18	-49,0 ±7,5	-45,5 ±9,0	-50,0 ±8,5	-	-34,7	-	-70,0	-	-72,0

Табл. 2 Перепад высот 60 метров, частота 570 МГц, мощность излучения 10 Вт

Высота подвеса, м	аномальные значения								
	$P_{cp} \pm \Delta P$, дБВт			P_{max} , дБВт			P_{min} , дБВт		
	-30°	0°	30°	-30°	0°	30°	-30°	0°	30°
12	-59,1 ±12,3	-46,8 ±15,5	-58,5 ±11,5	-38,6	-	-38,3	-74,0	-74,5	-74,0
15	-55,2 ±12,8	-45,2 ±11,0	-54,3 ±13,0	-41,3	-	-	-76,0	-60,0	-
18	-53,4 ±10,6	-45,0 ±10,5	-53,0 ±10,6	-	-34,0	-	-71,5	-59,3	-70,5

Заключение

В заключение, учитывая результаты таблиц 1 и 2, можно сформулировать вывод, что для заданной выборки положений ППС на трехкилометровой трассе среднее значение мощности на выходе антенны НПС возрастает с увеличением высоты подвеса. Закономерность особенно очевидна для боковых трасс, на которых перепад высот носит более выраженный характер. Так, при максимальном перепаде высот рельефа 30 метров и изменение высоты подвеса антенны НПС с 12 метров до 18 метров привело к росту средней мощности принимаемого сигнала на левой трассе (-30 градусов) на 9 дБВт, на правой трассе (30 градусов) на 8,6 дБВт при близких значениях максимального отклонения. Для местности с максимальным перепадом высот 60 метров закономерность имеет аналогичный характер, но мощность возрастает на меньшую величину: на трассе -30 градусов – на 5,7 дБВт, на трассе 30 градусов – на 5,5 дБВт. На центральных трассах указанная закономерность повторяется, но не столь очевидно, что связано со слабыми изменениями рельефа в центральном направлении.

Одиночные «всплески» уровня принимаемой мощности на трассах незначительно превышают уровень максимального отклонения средней мощности и не окажут существенного влияния на энергетические характеристики радиоканала.

Одиночные «провалы» принимаемой мощности носят нерегулярный характер. На центральных трассах их «глубина» уменьшается. С ростом высоты подвеса антенны НПС с 12 метров до 15 метров для перепада высот местности 30 метров – на 7,5 дБВт (с -73,0 дБВт до -65,5 дБВт), для перепада высот 60 метров – на 4,5 дБВт (с 74,5 дБВт до -60,0 дБВт). Для боковых трасс «глубина» одиночных провалов меняется в пределах: -70,0 дБВт, -76,2 дБВт – для трасс с перепадом высот 30 метров и -70,5 дБВт, -76,0 дБВт – для трасс с перепадом высот 60 метров. На боковых трассах зависимость уровня одиночных провалов с высотой подвеса антенны пункта управления не просматривается.

Таким образом, для приведенного варианта равнинно-холмистой местности с максимальным перепадом высот 30 и 60 метров, заданных типах антенн неподвижного и подвижного пунктов связи, при различной высоте подвеса антенны пункта управления (12 м, 15 м, 18 м), для заданной последовательности дискретных положений ППС при удалении от НПС и мощности излучения 10 Вт на частоте 570 МГц – мощность на выходе приемной антенны ППС не опускалась ниже -76,0 дБВт.

При чувствительности приемника -83 дБмВт или -113 дБВт обеспечивается значительный запас 37 дБВт для надежной работы линии связи на равнинно-холмистой местности на трассе протяженностью до 3 км.

Литература

1. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO – М.: ЗАО «НПП «Родник», 2008. – 246 с.
2. Банков С.Е., Курушин А.А. Практикум проектирования СВЧ структур с помощью FEKO – М.: ЗАО «НПП «Родник», 2009. – 200 с.
3. Воскресенский, Д.И. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев. – М.: Радиотехника, 2006. – 376 с.
4. Евграфов, А.В. ANSYS HFSS: передовые технологии трёхмерного решения электродинамических задач / А.В. Евграфов. – М.: Современная электроника, 2014. – № 6. – С. 74-77.
5. Курушин, А.А. Расчёт зеркальных параболических антенн с помощью современных САПР СВЧ / А.А. Курушин, С.Е. Чадов, А.С. Кондратьев, Е.И. Лаврецкий. – М.: Современная электроника, 2014. – № 3. С. 64-68.
6. Малорацкий, Л.Г. Микроминиатюаризация элементов устройств СВЧ / Л. Г. Малорацкий. – М.: Советское радио, 1976. – 295 с.
7. Марков, Г.Т. Математические методы прикладной электродинамики / Е.Н. Васильев. – М.: «Сов Радио», 1970. – 117 с.
8. Сазонов, Д.М. Устройства СВЧ / А.Н. Гридин, Б.А. Мишустин. – М.: Высшая школа, 1981. – 295 с.
9. Финкельштейн, М.И. Основы радиолокации / М.А. Финкельштейн. – М.: Советское радио, 1975. – 336 с.
10. Dr. Steven R. Best Antennas and propagation for wireless communication. Cushcraft Corporation, Manshester, 48 Perimeter Road, NH 03103.-322p.

Поступила 24 мая 2017 г.

The paper presents the results of computer simulation of attenuation in the radio channel with a movable contact point on rough terrain. The estimation of the sensitivity of the receiver in the three-kilometer track, sufficient for reliable communications.

Key words: radio channel, computer simulation, the movable contact point, rough terrain, software FEKO, panel two-element Z-antenna.

Лабзина Екатерина Алексеевна – магистрант института информационных технологий и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: katerinka.labzina@mail.ru.

Гаврилов Валериан Михайлович – доцент, кандидат технических наук, преподаватель кафедры радиотехники и радиосистем института информационных технологий и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: valerian.gavrilov@mail.ru.

Никитин Олег Рафаилович – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем института информационных технологий и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: olnikitin@mail.ru.

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, каф. РТ и РС.