

УДК 538.566.2

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ, БЕГУЩИЕ ВДОЛЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

В. Н. Дацко

Национальный исследовательский университет “МИЭТ”

Статья получена 1 декабря 2014 г.

Аннотация Проведён натурный эксперимент, в котором поверхностные электромагнитные волны возбуждались на плавно изогнутом железнодорожном полотне и в режиме бегущей волны наблюдались на частоте 368 МГц на расстоянии до 140 м. Наименьшее ослабление сигнала составило 0,2 дБ/м.

Ключевые слова: электромагнитные волны, поверхность, рельсы, изогнутое железнодорожное полотно, бегущая волна.

Abstract. An experiment is fulfilled, in which 368 MHz frequency electromagnetic surface waves were excited on the curved railway and were observed at a distance of up to 140 m. The smallest attenuation of signal is 0,2 dB/m.

Keywords: railing, curved railway, surface electromagnetic waves, attenuation.

Ранее сообщалось [1] о наблюдении в лабораторных условиях поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) сверхвысоких частот на расстоянии до 80 м в открытом волноводе, в качестве которого выбиралась лента поролонa с тонким слоем алюминия на поверхности, изогнутая в плоскости распространения на 180^0 , а также в поверхностных (открытых) волноводах различной конфигурации [2]. По такой же методике, с теми же возбуждающими и приёмными антеннами [3] был проведён натурный эксперимент на заброшенной железнодорожной ветке: распространение поверхностных электромагнитных волн наблюдалось на частоте 368 МГц по плавно изогнутому (радиус кривизны 150м) рельсу на расстоянии до 140м.

Экспериментальный метод

В опыте измерялось распределение вдоль трассы (рельса или двух

рельсов) электромагнитного поля, возбуждаемого излучателем, установленным на стальном рельсе. Поверхностные электромагнитные волны возбуждались и принимались одинаковыми антеннами оригинальной конструкции (диполь), описанными в работе [3]. Возбуждающая антенна подсоединялась к генератору СВЧ и устанавливалась на рельсе неподвижно. Приёмная антенна подключалась к анализатору спектра и от возбуждающей антенны передвигалась по рельсу вдоль него с шагом 0,6м. В каждой точке (всего 230) измерялось ослабление сигнала относительно первоначального значения, полученного в месте нахождения возбуждающей антенны. Распределение поля вдоль трассы снималось на частоте 368 МГц (длина волны 0,8м).

Для проверки прохождения по рельсу поверхностной, а не пространственной вблизи него, волны проводился контрольный эксперимент: одна из антенн по очереди или обе вместе снимались с рельса и располагались на земле в 0,5м от рельса с внешней стороны железнодорожного полотна - во всех случаях сигнал на приёмной антенне отсутствовал. На криволинейной трассе, когда приёмник находится вне пределов прямого луча излучателя и исключается приём отраженных сигналов пространственной волны, наличие сигнала на приёмной антенне свидетельствует о прохождении по рельсу поверхностной волны, следующей за его кривизной.

Высота локализации поля волны в воздухе определялась как уменьшение интенсивности сигнала в «е» (основание натуральных логарифмов 2,7) раз при подъёме приёмной антенны над рельсом.

Центральной проблемой ПЭВ является эффективность их возбуждения в различных средах, которая определяется как отношение мощности, «закачанной» в волну, к мощности, подведённой к возбуждающей антенне. Нами созданы антенны [3] с коэффициентом эффективности 0,8; а также разработана методика определения эффективности возбуждения ПЭВ любыми антеннами, расположенными на границе раздела проводящей среды с диэлектриком; создан и опробован соответствующий математический аппарат [4].

Параметры экспериментального участка (железнодорожного полотна):

расстояние между рельсами 1,524 м;

расстояние между деревянными шпалами 0,60 м;

длина рельса 12,5 м; ширина верхней плоской части рельса 0,055 м.

Оборудование: Источник -генератор сигналов R&S SML03(мощность на выходе генератора 100 мВт); приемник – анализатор спектра R&S@ESCI. Генератор питался от аккумулятора автомобиля и подключался через повышающий трансформатор 12/220 вольт. Приемная и передающая антенны позволяли возбуждать и принимать продольную компоненту электрического поля поверхностной электромагнитной волны, направленную вдоль рельса.

Результаты

Графики ослабления интенсивности поверхностной электромагнитной волны в зависимости от расстояния представлены на рис.1-3.

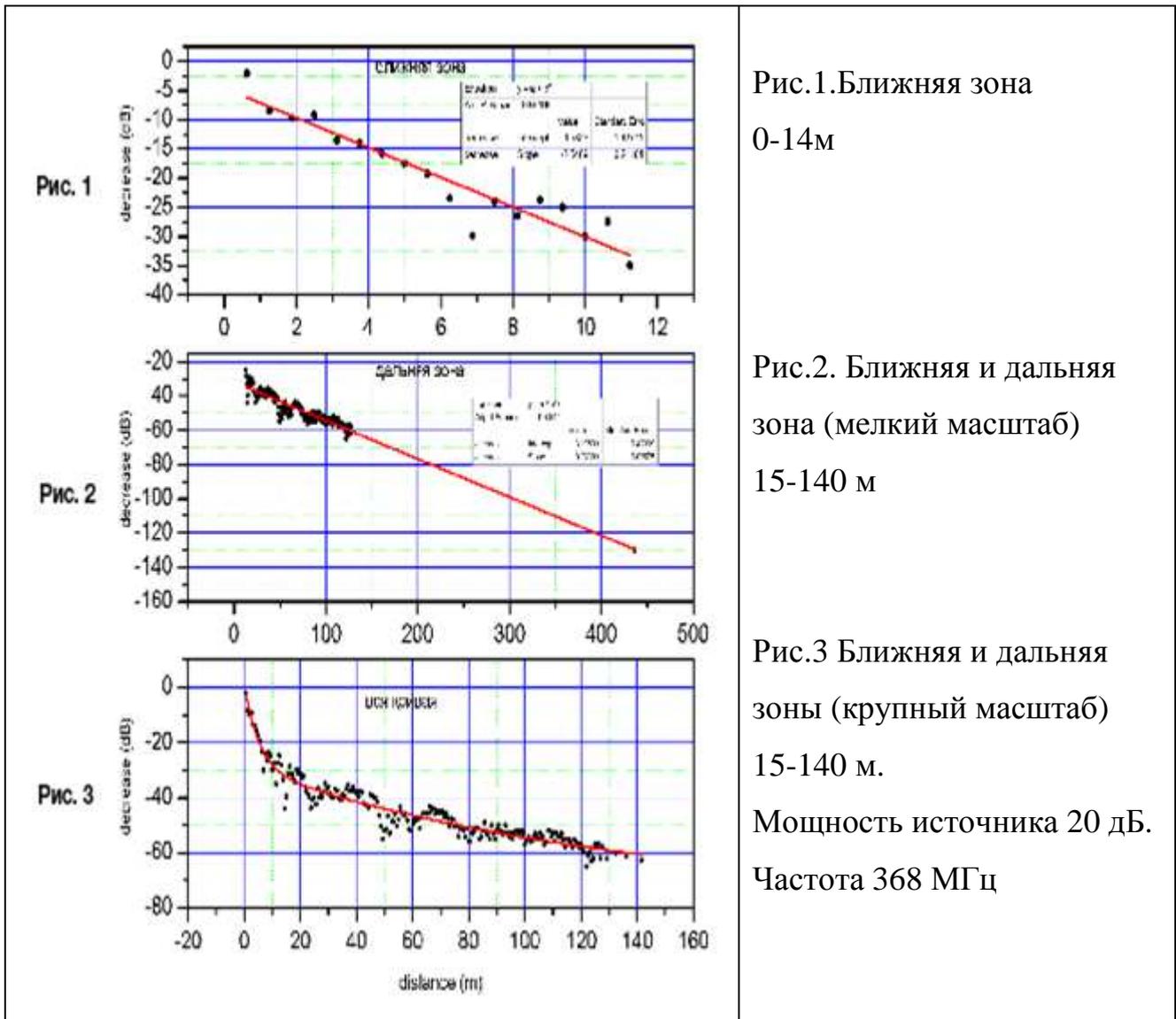


Рис.1-3. Ослабление интенсивности ПЭВ в зависимости от расстояния при распространении по плавно изогнутому железнодорожному рельсу. Красная линия - теория. Чёрные точки - эксперимент.

Высота локализации поля ПЭВ в воздухе над рельсом равнялась 1,5 м. Локализация поля в рельсе соответствовала толщине обычного скин-слоя.

Наблюдалось «прилипание» поля волны к поверхности рельса, что проявлялось в следовании за его кривизной.

На различных участках трассы ослабление сигнала менялось. Наименьшее значение ослабления составило 0,2 дБ/м.

Прохождение сигнала ПЭВ по рельсам, уложенным на бетонные шпалы, было несколько хуже, чем по рельсам на деревянных шпалах, что объясняется поглощением электромагнитного поля в бетоне.

Бегущая поверхностная волна проходила через стыки рельсов с незначительным ослаблением.

На расстоянии 0.5 м сбоку от рельса поле волны ниже уровня фона.

Измерения на параллельном рельсе дали те же результаты.

Был проведён эксперимент с одновременным параллельным возбуждением ПЭВ на обоих рельсах: две идентичные антенны устанавливались на рельсах напротив друг друга на расстоянии 1,5 м (ширина ж.д. полотна); они подключались к одному генератору и возбуждали поверхностные волны в противофазе на частоте 440 МГц (длина волны 0.7 м). В результате совместного действия, при той же мощности генератора, диаграмма направленности двух излучателей заметно сузилась, по сравнению с диаграммой направленности одного излучателя, а дальность распространения поверхностных волн вдоль рельсов достигла 1200 м.

Обсуждение результатов

Опыт хорошо соотносится с теорией ПЭВ.

Небольшие колебания экспериментальных точек относительно теоретической прямой объясняются интерференцией пространственной и

поверхностной волн, совместно возбуждаемых источником, расположенным на поверхности раздела двух сред.

В картине спада поля прослеживаются ближняя зона быстрого (экспоненциального) спада поля волны и дальняя зона медленного плавного спада.

Характер спада поля поверхностной волны вдоль изогнутого ж.д. рельса совпадает с таковым на изогнутой металлической ленте [1].

Поле поверхностной волны над металлическим рельсом сильнее прижато к поверхности (две длины волны), локализовано лучше, чем над океанской водой (5-7 длин волн в зависимости от частоты) [5].

Ослабление интенсивности ПЭВ при прохождении через стыки рельсов объясняется незначительной потерей энергии при частичной трансформации поверхностной волны в пространственную на разрывах волноведущей поверхности.

В натурном эксперименте осуществлялся режим бегущей волны. Для поверхностных электромагнитных волн рельс представляет собой открытый волновод.

Заключение

Натурный эксперимент показал, что железнодорожное полотно может рассматриваться как открытый волновод, линия связи и (или) антенна бегущих поверхностных электромагнитных волн.

Автор благодарен А.С.Антонову за графическое представление результатов измерений.

Литература

1. В.Н.Дацко, М.А. Суслов «Поверхностные электромагнитные волны сверхвысоких частот в открытом волноводе». // «Радиотехника и электроника», 2013, т.58, №5, с 503-506.
2. В.Н.Дацко «Поверхностные электромагнитные волны на металле» // «Радиотехника и электроника», 2014, т.59, №5, с. 452-457.
3. В.Н.Дацко «Антенна ПЭВ» Инженерная физика 2013, №8, стр.75-78

4. Ю.В.Кистович “Поверхностные электромагнитные волны Ценника СВЧ диапазона на соленой воде” Дисс. кандидата физ-мат. наук, Москва, ВНИИФТРИ, 1988.

5. В.Н.Дацко «Новые типы поверхностных электромагнитных волн в проводящих средах» Дисс. доктора физ.-мат. наук, Москва, ИОФ РАН, 2000.