

УДК 532.135

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ «ЛЕС-ПОЧВА» НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЛИННЫХ РАДИОВОЛН

Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Ангархаева Л.Х., Буянова Д.Г., Хаптанов В.Б.

ФГБУН «Институт физического материаловедения СО РАН», Улан-Удэ, e-mail: mdembelov@mail.ru

Представлены результаты моделирования поля земной волны, создаваемой вертикальным электрическим диполем над слоистой структурой «лес-почва». Показано, что в диапазоне 50-200 кГц условия распространения радиоволн над лесом при сильно-индуктивном импедансе более благоприятны, чем над почвой без леса. Получены значения модуля функции ослабления $|W|$, превышающие единицу и достигающие $|W| = 1,74$, которые обусловлены поверхностной электромагнитной волной (ПЭВ). При $|W| > 1$ условия распространения более благоприятны, чем над однородной проводящей поверхностью.

Ключевые слова: поверхностный импеданс, функция ослабления, поле земной волны, структура «лес-почва»

THE INFLUENCE OF «FOREST-SOIL» STRUCTURE ON PROPAGATION OF LONG WAVES

Bashkuev Y.B., Dembelov M.G., Angarkhaeva L.H., Buyanova D.G., Khaptanov V.B.

Institute of Physical Materials Science of the SB of the RAS, Ulan-Ude, e-mail: mdembelov@mail.ru

The report presents the results of modeling of the field of the earth's wave generated by a vertical electric dipole over the layered structure of the «forest-soil». It is shown that in the range of 50-200 kHz conditions of radio wave propagation over the forest at the strongly inductive impedance are more favorable than over the soil without the forest. The obtained values of function module attenuation $|W|$ are greater than one and reach up to $|W| = 1,74$. This is due to surface electromagnetic wave (SEW). When $|W| > 1$ propagation conditions are more favorable than over homogeneous conductive surface.

Keywords: surface impedance, an attenuation function, field of Earth's wave, structure «forest-soil»

Из теории распространения радиоволн над слоистыми средами следует, что над трассами с сильно-индуктивным импедансом появляется ПЭВ. В связи с проблемой ПЭВ [1] большое значение для покрытых лесом районов России имеет исследование распространения ДВ радиоволн над лесистыми трассами.

Цель работы – моделирование условий распространения радиоволн (функция ослабления W , уровень электромагнитного поля E) над слоистой структурой «лес-почва» в диапазоне 50-500 кГц, анализ численных данных моделирования. Лес рассматривается как изотропный полупроводящий слой, расположенный на почве с относительной комплексной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{кл}} = \epsilon_n + i60\lambda\sigma_n$, высотой $h_n \leq \lambda$, расстоянием между деревьями $r \leq \lambda$, где λ – длина волны в воздухе, (σ_n и ϵ_n) – электрические параметры леса. Диэлектрическая проницаемость леса ϵ_n изменяется в пределах 1,2÷2,9, а его электропроводность $\sigma_n = 10^{-4} \div 10^{-6}$ См/м. Высота леса h_n зависит от его возраста и изменяется от 7 до 25 м, в среднем 10–20 м. Рассмотрим поверхностный импеданс δ слоистой среды «лес-почва». В СДВ-ДВ диапазонах слой леса высотой 7-25 м можно считать тонким. Примем для расчетов двухслойную среду «смешанный лес-почва» с типичными параметрами для смешанного леса $\sigma_n = 10^{-4}$ см/м,

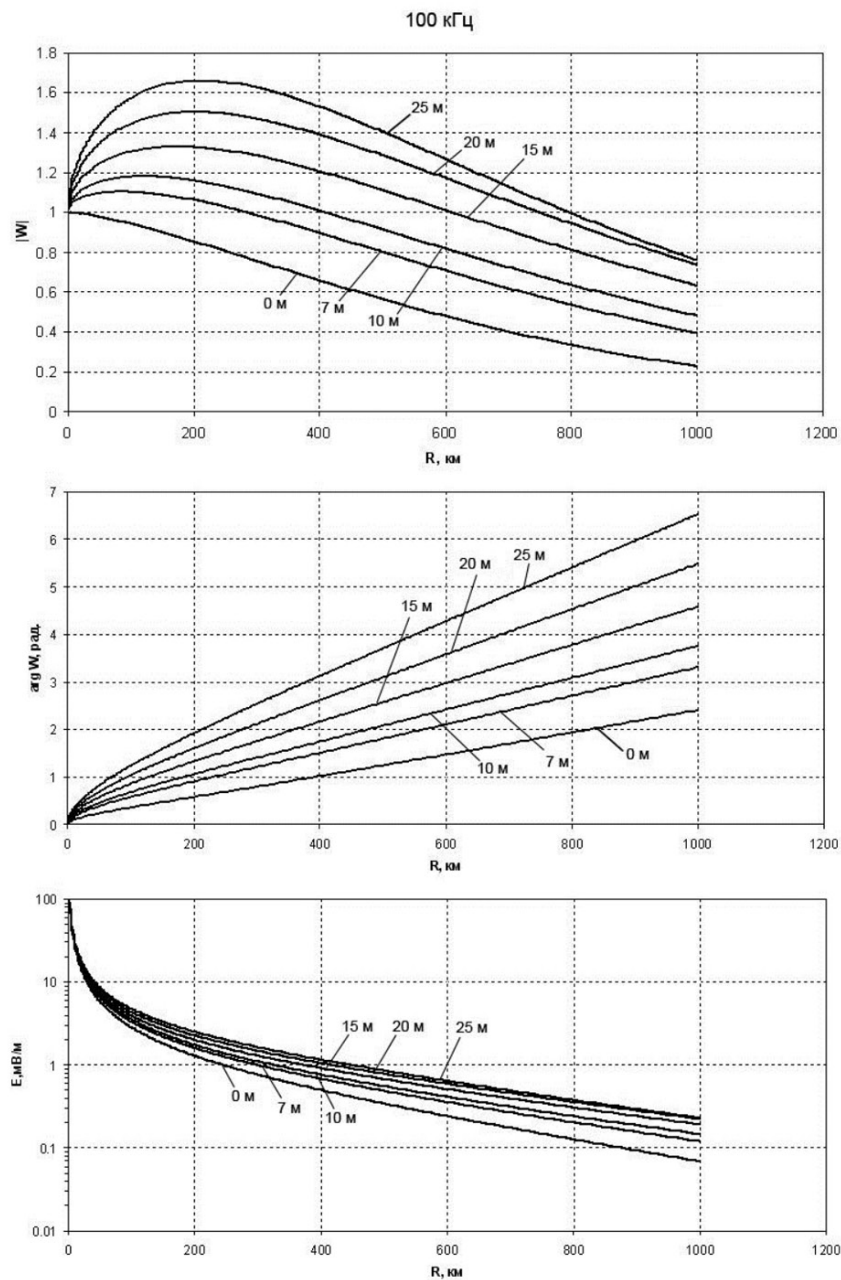
$\epsilon_n = 1,6$. Для влажной почвы примем $\epsilon = 20$, $\sigma = 20$ мСм/м. Расчеты показывают, что слой леса с принятыми значениями σ_n и ϵ_n существенно изменяет величину поверхностного импеданса слоистой среды «лес-почва»: увеличивает модуль импеданса и смещает фазу в сторону сильно-индуктивных импедансов (до -77°). Увеличение $|\delta|$ достигает 7,4 раза, а смещение $\Delta\phi_\delta$ доходит до 32° . Увеличение высоты лесослоя h_n от 7 до 2 м почти линейно увеличивает модуль $|\delta|$ и смещает фазу импеданса ϕ_δ в сильно-индуктивную область. Следовательно, при прогнозировании распространения радиоволн над лесистыми трассами необходимо наиболее точно определить эффективную высоту слоя леса.

Вертикальную составляющую напряженности электрического поля E на расстоянии R на сферической поверхности Земли представим в виде $E = E_0 W$, где E_0 – напряженность электрического поля диполя, расположенного на плоской бесконечно проводящей поверхности, W – функция ослабления. Передатчик и приемник расположены на поверхности Земли. В расчетах принята излучаемая мощность 1 кВт. Зависимость поля от времени принята в виде функции $\exp(-i\omega t)$. Модуль вертикальной составляющей электрического поля $|E_n|$ связан с модулем функции ослабления $|W|$ формулой:

$$|E_B|_{[МВ/м]} = \frac{300\sqrt{P}}{R} |W(R)|,$$

где P – излучаемая мощность, кВт; R – расстояние от источника до точки приема, км. Расчет функции ослабления W для сферической земли проведен по ряду В.А. Фока. Рассмотрим расчеты функции ослабления над импедансной трассой «лес-почва» в диапазоне 50–500 кГц (рисунок). Сравнение численных данных для функции ослабления и уровня поля, полученных по ряду

Фока для однородной трассы «лес-почва» с высотой леса от 7 до 25 метров на расстояниях до 1000 км показало, что условия распространения радиоволн над лесистыми трассами из-за сильно-индуктивного поверхностного импеданса на расстояниях от излучателя, существенно зависящих от частоты, более благоприятны, чем над однородной хорошо проводящей земной поверхностью. В таблице представлены расчетные значения $|W|_{\text{макс}}$ и $R_{\text{макс}}$ при изменении высоты леса от 7 до 25 м.



Графики $|W|$, $\varphi_{\text{офн}}$ и уровня поля E над радиотрассой «лес-почва» на частоте 100 кГц

Частотная зависимость значений $|W|_{\max}$ и расстояний R_{\max} для ПЭВ при разной высоте леса

$f, \text{кГц}$	50		100		200		300		400		500	
	$ W _{\max}$	R_{\max}° КМ	$ W _{\max}$	R_{\max}° КМ	$ W _{\max}$	R_{\max}° КМ	$ W _{\max}$	R_{\max}° КМ	$ W _{\max}$	R_{\max}° КМ	$ W _{\max}$	R_{\max}° КМ
7	1,03	26	1,104	75	1,242	71	1,277	33	1,262	17	1,228	8
10	1,054	59	1,178	108	1,376	78	1,401	29	1,342	13	1,288	6
15	1,099	101	1,33	100	1,565	67	1,511	22	1,417	9	1,33	4
20	1,154	139	1,5	175	1,676	52	1,559	15	1,426	6	1,333	2
25	1,223	181	1,61	203	1,739	39	1,556	9	1,398	4	1,327	1

Из таблицы следует, что на частотах 50 – 300 кГц $|W|_{\max}$ увеличивается при увеличении высоты леса. Однако при этом R_{\max} увеличивается только на частотах 50 и 100 кГц. На частотах от 300 до 500 кГц R_{\max} не превышает 33 км и резко уменьшается до 1 км на частоте 500 кГц при высоте леса 25 м. Следовательно, наиболее благоприятными условия распространения радиоволн над лесистыми трассами будут в диапазоне частот от 50 до 150-200 кГц. На частотах от 300 до 500 кГц дальность действия радиолиний на ПЭВ существенно уменьшается при увеличении высоты леса. Этот диапазон частот характеризуется плохими условиями распространения радиоволн над лесистыми трассами. Полученные численные результаты следует учитывать при выборе рабочих частот радионавигационных систем и радиовещания в лесистых районах.

Заключение

Результаты моделирования поля земной волны, создаваемой вертикальным электрическим диполем над слоистой структурой

«лес-почва» показали, что в диапазоне 50-200 кГц условия распространения радиоволн над лесом при сильно-индуктивном импедансе более благоприятны, чем над почвой без леса. Получены значения модуля функции ослабления $|W|$, превышающие единицу и достигающие $|W| = 1,74$, которые обусловлены ПЭВ. При $|W| > 1$ условия распространения более благоприятны, чем над однородной проводящей поверхностью (например, морем). При анализе численных данных для $|W|$ и уровня поля E на трассах с высотой леса от 7 до 25 метров установлено, что при сильно-индуктивном поверхностном импедансе условия распространения радиоволн над лесистыми трассами зависят от частоты, высоты леса и расстояния от излучателя. Численными расчетами показано сильное влияние лесных массивов на распространение радиоволн СДВ-СВ диапазонов.

Список литературы

1. Башкуев Ю.Б., Хаптанов В.Б., Дембелов М.Г. Экспериментальное доказательство существования поверхностной электромагнитной волны // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т. 36, № 3. – С. 88–95.