

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА RFID-МЕТКИ

¹Санников С.П., ¹Серебренников М.Ю., ¹Серков П.А.

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», УГЛТУ, Екатеринбург, Россия (620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37, УЛК-4/107), e-mail: SSP-mail@mail.ru

Проведены исследования по ослаблению радиочастотного сигнала, распространяемого в лесу от RFID-метки к сканирующему устройству. Выявлено, что древесина различных пород по-разному влияет на рассеяние электромагнитной энергии. Характер и величина рассеяния зависит от погодных условий и времен года. Это связано со свойствами древесины и структурой дерева: поверхность ствола дерева, разновидность коры дерева, крона с количеством веток и листьев или иголок хвой. Использовано такое понятие, как объемная доля лесной среды, влияющая на комплексную диэлектрическую проницаемость. Предложена модель радиоканала в лесном пологом и формула для моделирования взаимодействия радиочастотного сигнала УВЧ- и СВЧ-волн с лесным пологом. Исследования проводились на частотах 0,9 и 2,4 ГГц для информационных технологий при мониторинге леса.

Ключевые слова: анизотропный, лесной полог, ствол дерева, крона, информационные технологии, лесозаготовка, лесоохрана, сканирующее устройство, радиочастотные датчики, RFID-устройство.

INFLUENCE OF ANISOTROPIC CHARACTERISTICS OF THE WOOD ON DISTRIBUTION OF RADIO-FREQUENCY SIGNAL RFID MARKS

Sannikov S.P., Serebrennikov M.YU., Serkov P.A.

The Ural State Forest Engineering University, USFEU, Ekaterinburg, Russia (620100, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Siberian highway, 37, ULK-4/107), e-mail: SSP-mail@mail.ru

Are carried out researches on easing a radio-frequency signal distributed in a wood from RFID labels to the scanner. It is revealed, that wood of various breeds differently influences dispersion of electromagnetic energy. Character and size of dispersion depends on weather conditions and seasons. It is connected with properties of wood and structure of a tree — a surface of a tree trunk, a version of a bark of a tree, a crone with quantity(amount) of branches and leaves or needles of needles. Such concept, as the volume fraction of the wood environment influencing complex dielectric permeability is used. The model of a radio channel in wood linen and the formula for modelling interaction from radio-frequency signal UVCH and SVCH of waves with wood flat is offered. Researches were spent on frequencies of 0,9 and 2,4 GHz for information technologies at monitoring a wood.

Keywords: anisotropic, wood linen, a tree trunk, a crone, information technologies, timber cutting, wood-guard, the scanner, radio-frequency gauges, RFID the device.

Неоднородность строения лесного полога не способствует прохождению электромагнитных радиоволн [1; 2]. Исследования показали, что деревья имеют множество элементов в виде сучков, листьев, иголок пихты, стволов. Лес поглощает и рассеивает электромагнитную энергию от RFID-датчика к сканеру (станции опроса) и, наоборот, в зависимости от времени года и погодных условий, от состава, вида и расположения деревьев, от плотности прорастания и количества кустарников ослабление происходит внутри лесного массива. Использование информационных технологий для мониторинга леса и экологической ситуации с применением радиочастотных устройств [6—8]. Основной способ, технология по сбору данных об основных параметрах леса (диаметр и высота ствола дерева, фитомасса и пр.) - это использование постоянных и временных пробных площадей (ППП,

ВПП или ПП), на которых производятся определенные измерения параметров леса в течение определенного времени. Недостаток - это временной фактор: исчисляется годами, сезонами, а сбор данных осуществляется экспедициями. Трудоемкость такого способа сбора информации о динамике леса весьма высока, низкая оперативность, а также сказывается человеческий фактор на точность измерения показаний и статистическую обработку. Поэтому важен космический мониторинг лесных пожаров, рубок древесины с использованием радиояркой технологии получения информации об измерении температуры из космоса поверхности земли, покрытой лесами. Необходимы важные ответы на задачи рассеивания электромагнитной энергии лесным пологом.

Целью работы являются экспериментальные исследования характеристик деревьев, влияющих на прохождение электромагнитной энергии. Характерная особенность поверхности стволов деревьев - неоднородность, а их строение обладает физическими, химическими свойствами отражать энергию ультравысоких и сверхвысоких частот (УВЧ и СВЧ). Выпуклая конструкция ствола дерева способствует рассеянию ее в разные стороны. Стволы деревьев для определенных длин волн являются пассивными ретрансляторами, поляризаторами, рассеивателями и поглотителями электромагнитной энергии УВЧ- и СВЧ-волн [5].

Исследования проводились на частотах 0,9 и 2,4 ГГц. Нужно отметить, что в некоторых опытах снижение мощности составляло всего 6—7 дБ. Подобное можно объяснить рельефом местности, природными и погодными условиями во время измерения снижения мощности.

Данные необходимы для автоматизированных систем с использованием RFID-устройств мониторинга экологической ситуации в лесах, для учета, сохранности, перемещения лесоматериалов необходимо обеспечить надежную их работу в условиях леса [3; 4].

В исследованиях рассмотрена измерительная модель как система сбора данных на указанных частотах (рис. 1). Электромагнитные волны от RFID-устройства 1 распространяются к сканеру 2 не только прямолинейно на прямой линии, но и отражаясь от поверхности стволов деревьев, почвы 4, кроны деревьев 3, и поступают на вход приемника сканера 2 и обрабатываются им.

Поэтому приемник сканера 2 принимает множество отраженных сигналов, которые создают шумы, из которых необходимо выделить полезный сигнал. Каждый из сигналов приходит на вход приемника с небольшим опозданием по сравнению с прямым сигналом. Накладываясь на основной сигнал, усиливает его, если отраженный сигнал находится в той же фазе, или ослабевает его, если в противоположной фазе. Сканеру необходимо отфильтровать побочные сигналы, т.е. выделить нужный сигнал.

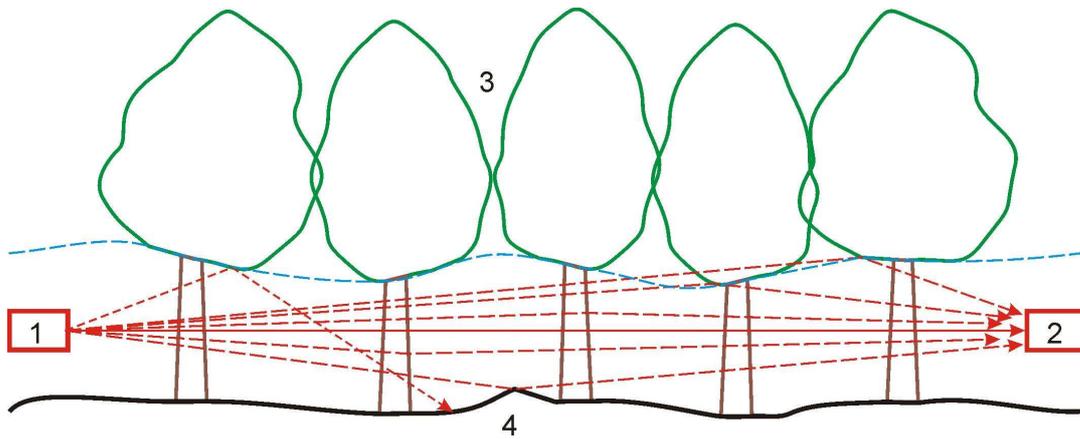


Рис. 1. Схема распространения электромагнитных волн RFID-устройств: 1, 2 — RFID-датчик и сканер; 3 — крона деревьев; 4 — почва

Рассеяние сигнала происходит от стволов деревьев, от элементов кроны деревьев (сучки, листья, хвоя), от почвы с ее растительным слоем. Все перечисленные элементы канала передачи данных от датчика к сканеру можно представить как анизотропные дискретные поверхности со случайными, неравномерно распределенными диэлектрическими свойствами. Комплексная диэлектрическая проницаемость (КДП) этих поверхностей зависит от влажности и плотности древесины, от химического состава жидкостей внутри капилляров, от строения тканей оболочек капилляров. КДП влияет на скорость прохождения УВЧ- и СВЧ-волн в лесной среде. Поэтому в зависимости от вида прорастания деревьев на определенном участке леса и времени года показатели диэлектрической проницаемости меняются в диапазоне в несколько единиц:

$$\epsilon^{\alpha} = \sum_i V_i \epsilon_i^{\alpha},$$

где V_i — объемная доля i -го компонента лесной среды (лесного полога); ϵ_i^{α} — комплексная диэлектрическая проницаемость лесной среды; α — константа, учитывающая особенности лесного массива.

Средой рассеяния является ствол дерева, находящегося в зоне распространения УВЧ (СВЧ) волн и влияющего на величину дисперсии. Объем ствола дерева в выражении обозначили V_i , представляет долевой состав структуры коры, влаги и окружающего воздуха. Константа α показывает соотношение воздуха, жидкости и твердого материала древесины. При $\alpha = 1$ значения КДП суммируются, а при $\alpha = 0,5$ суммируются комплексные показатели преломления. Рассеянный сигнал является широкополосным, и для оценки его амплитуды использовали теорию аналитического сигнала.

На рис. 2 представлены примеры полученных откликов распространения сигнала в лесном пологе. Отчетливо выделяются на диаграмме в шумах характерные структуры

отраженного сигнала от стволов деревьев. Временное запаздывание пересчитано в расстояние, т.е. путь отраженного сигнала. Этот сигнал характеризует собой форму инвертированного зондирующего импульса. Длительность этого сигнала оценивается $\approx 1,5$ нс, что соответствует протяженности импульсного объема в 16—18 см. При таком разрешении сигнала отклики лесного полога могут быть отнесены к отдельным деревьям. На участке исследования явно наблюдаются три отдельно стоящие березы, стоящие на прямой линии между приемником (Rx) и передатчиком сигнала (Tx). Диаметр ствола ≈ 18 —20 см с удалением от источника сигнала на 105 м. Также на исследуемом участке имелись другие деревья по обе стороны от прямой видимости и кустарник высотой до 1 м. Приемник (Rx) и передатчик (Tx) устанавливались на высоту $\approx 1,5$ м, поэтому на рисунке видны шумы, создаваемые неоднородностью местности.

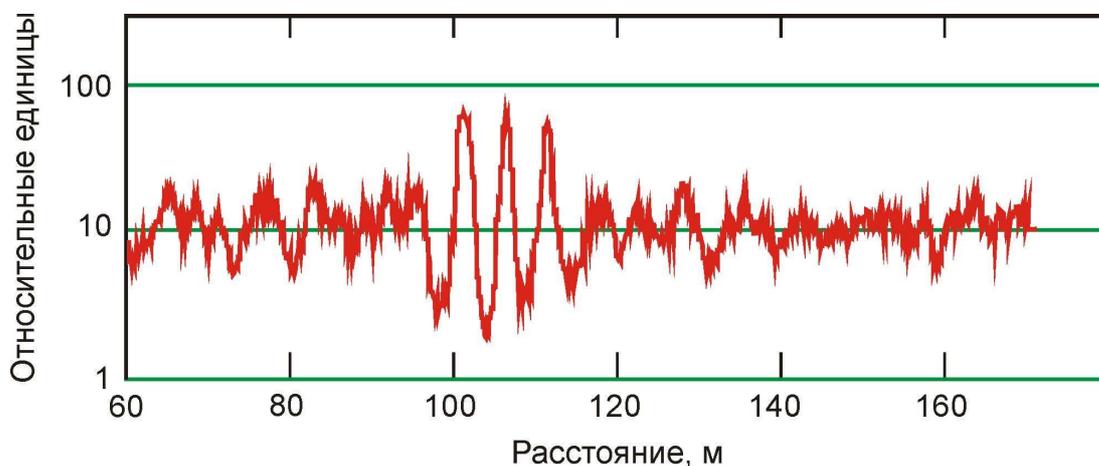


Рис. 2. Фрагмент измеренного сигнала, рассеянного лесным пологом с тремя отдельно стоящими деревьями

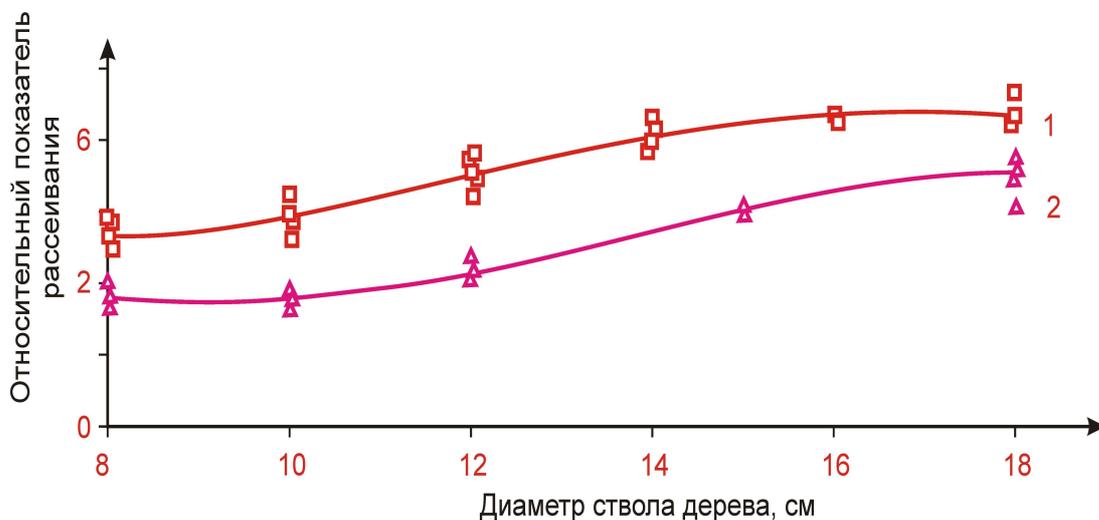
Формула для моделирования взаимодействия радиочастотного сигнала УВЧ- и СВЧ-волн с лесным пологом:

$$U(x) = U_0 \left(\varepsilon + \frac{1}{2\pi} \int \exp \left\{ ikx \left[1 - \frac{\nu(1-T)}{ik} \right] \right\} \right),$$

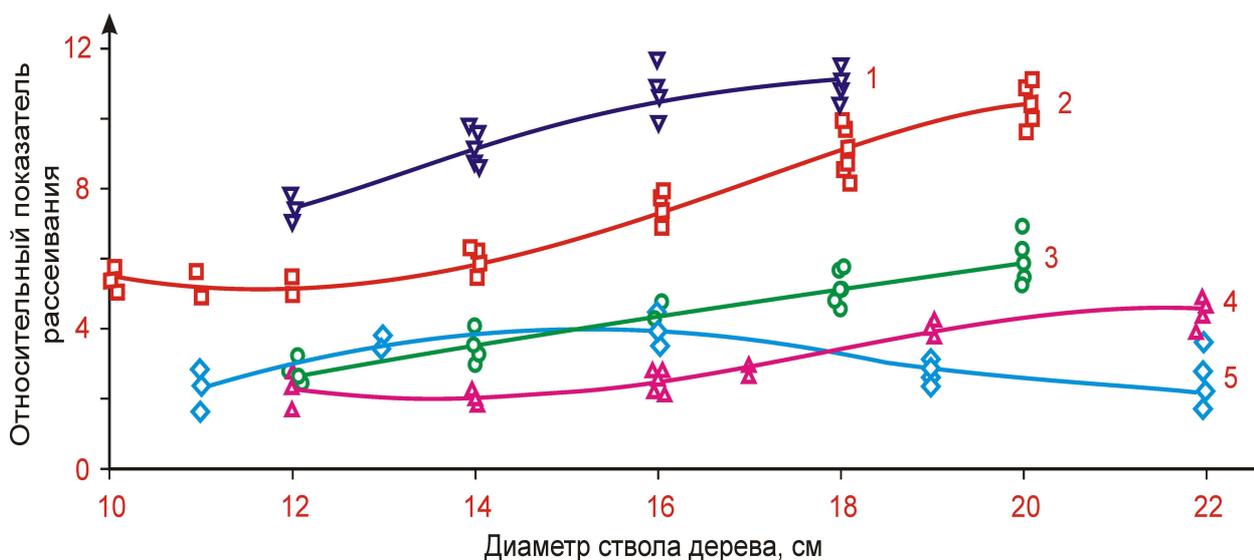
где U_0 — начальный уровень сигнала, измеренный на расстоянии 1 м от источника сигнала; T — параметр, связанный с физическими свойствами дерева (диаметром, породой, возрастом и пр.) влияющими на рассеивание электромагнитной энергии УВЧ- и СВЧ-волн, определяемый экспериментальным путем; ε — комплексная диэлектрическая проницаемость; ν — усредненная плотность деревьев; x — расстояние.

Параметр T связан с геометрическими величинами ствола дерева, влажностью, которые влияют на КДП, и связан через отношение с длиной волны сигнала $\lambda = 2\pi/k$ [9].

Экспериментальные зависимости рассеяния лиственными и хвойными породами от диаметра ствола дерева представлены на рис. 3, а и б.



а)



б)

Рис. 3. Усредненные данные рассеивания лиственных и хвойных пород леса:

а) 1 — береза; 2 — осина;

б) 1 — пихта; 2 — ель; 3 — сосна; 4 — лиственница; 5 — кедр

Представленные данные без учета атмосферного состояния, без учета состояния влажности поверхностей стволов деревьев, времени суток. Анализ кривых показывает, что величина рассеяния зависит от диаметра ствола дерева и его породы. Кривые на рис. 3 показывают увеличение ослабляющей способности дерева с его возрастом, который можно оценивать по диаметру.

С возрастом дерева его кора становится рыхлой, способной поглощать электромагнитную энергию УВЧ- и СВЧ-волн. Увеличение диаметра ствола дерева снижает рассеивание в силу того, что увеличенная поверхность становится соизмеримой с длиной волны, не происходит дифракция УВЧ-волн, как можно видеть на кривой 5 (рис. 3б).

У деревьев с небольшим диаметром поверхность коры более гладкая, поэтому эффект поглощения незначительный по сравнению с деревьями большего диаметра.

Влагосодержание коры с возрастом снижается, снижается и диэлектрическая проницаемость верхнего слоя коры, что приводит к снижению отражательной способности поверхности ствола дерева УВЧ- и СВЧ-волн. Поправочный коэффициент, обусловленный профилем среды распространения радиосигнала, приведен на графике [4].

Данные исследования показали, что они приемлемы по созданию автоматизированной системы сбора и передачи данных мониторинга леса. Поиск конструкторских решений по увеличению дальности канала передачи данных с RFID-устройствами продолжается. Решение задачи увеличения мощности радиочастотных устройств при определенной длине волны λ несущей частоты считывателя увеличит дальность от RFID-устройства до считывателя.

Радиоволны от радиопередатчика сканирующего устройства к приемнику RFID-датчика и обратно в систему сбора информации о лесе проходят путь по прямой видимости, так и сильно закрытых препятствиями канала связи, например стволами деревьев. В таком радиоканале передачи данных имеются множество случайных параметров, накладываемых на основной сигнал случайным образом. Моделирование, проектирование радиоканала — сложная задача, требующая знаний о рельефе местности и растительности [4]. Поэтому как основание для проектирования необходимы статистические данные, полученные в результате проведения экспериментов. Наличие достаточного количества статистических данных и методических рекомендаций обуславливает внедрение RFID-технологий для мониторинга леса.

Список литературы

1. Ахияров В.В. Рассеяние на статистически неровной поверхности с произвольными корреляционными свойствами // Журнал радиоэлектроники [Электронный ресурс]. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. - № 2. - URL: <http://jre.cplire.ru/win/feb12/2/text.html> (дата обращения: 25.01.2013).

2. Гельцер А.А., Ворошилин Е.П., Ильченко В.П. Модель канала распространения радиоволн с однократным рассеянием в диапазоне УКВ [Электронный ресурс]. – Томск : ТГУСУиР, 2007. - URL: http://www.conf-ulstu.ru/pubs_2007.php (дата обращения: 25.01.2013).
3. Герц Э.Ф., Санников С.П. Методика проведения мониторинга движения сырьевых потоков в лесопромышленном производстве на основе RFID-технологии // Формирование регионального лесного кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса. Матер. VIII междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2011. — С. 354—358.
4. Герц Э.Ф., Санников С.П., Соловьев В.М. Использование радиочастотных устройств для мониторинга экологической ситуации в лесах // Аграрный вестник Урала. Екатеринбург : АВУ. – 2012. - № 1 (93). - С. 37—39.
5. Дагуров П.Н. Моделирование дифракционного распространения волн и структур поля радиоволн УВЧ и СВЧ на нерегулярных трассах : дис. док. техн. наук. – Иркутск : ИГУ, 2010. — 256 с.
6. Санников С.П., Герц Э.Ф. Информационные технологии в управлении лесами // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе САПР, АСНИ, СУБД и системы искусственного интеллекта. Материалы 5-й межд. науч.-техн. конф. – Вологда : ВоГТУ, 2009. – С. 269—271.
7. Санников С.П. [и др.] Возможность экологического мониторинга лесов (Possibility of the ecological monitoring wood) // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. Выпуск: V. Материалы международного симпозиума инженерная экология – 2009 (совместно со школой-семинаром молодых ученых). - М. : Институт радиотехники и электроники РАН. Институт проблем экоинформатики РАЕН, 2009. - С. 79—83.
8. Санников С.П., Серков П.А., Шипилов В.В. Система автоматизированного наведения рабочей головки манипулятора на дерево [Электронный ресурс]. - М. : Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 1. - С. 187—193. - URL: www.science-education.ru/107-8254 (дата обращения: 30.01.2013).
9. Ishimaru A. Wave Propagation and Scattering in Random Media, Academic Press, New York, 1978.

Рецензенты:

Гороховский Александр Григорьевич, профессор, доктор технических наук, генеральный директор ФГУП «УралНИИПДрев», г. Екатеринбург.

Лисиенко Владимир Георгиевич, д.т.н., профессор, УрФУ имени первого Президента России,
г. Екатеринбург.