

УДК 630.52:587/588

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-45-54

МЕТОД РАДИОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНОГО ФОНДА

С.П. Санников, В.В. Побединский, И.В. Бородулин, А.А. Побединский

Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ), 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37
ssp-54@mail.ru

Рассмотрены проблемы радиочастотного мониторинга лесного фонда. Целью исследований являлось обоснование терминологического и классификационных определений систем радиочастотного мониторинга лесной среды, разработка аналитических выражений расчета основных параметров, обоснование типа, конструктивного решения и способов использования автоматизированной системы контроля перемещения лесоматериалов и состояния лесного фонда. Метод и система радиочастотного мониторинга с использованием устройств RFID позволяют оперативно получать информацию о состоянии древостоя и лесной среде в целом. Объединив сенсоры и датчики RFID в локальную сеть, можно получать необходимую информацию о: перемещении деревьев (лесоматериалов), транспорта; возникновении лесного пожара; состоянии атмосферы в любой точке леса по концентрации газа (дыма); температуре; влажности; приросте леса и других таксационных показателях. Обосновано терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды; разработана классификация видов радиочастотного мониторинга лесной среды; созданы системы контроля перемещения лесосырьевых потоков; разработан метод использования радиочастотных устройств мониторинга пожарной опасности в лесах; получены аналитические зависимости расчета основных параметров радиочастотного сигнала в лесной среде. Предложенный метод радиочастотного мониторинга, варианты топологии сети устройств RFID, аналитические выражения для расчета, экспериментальные данные могут быть рекомендованы для использования в практике лесопользования и лесопользования.

Ключевые слова: радиочастотный мониторинг лесного фонда, сеть устройств RFID, параметры лесной среды, лесосырьевые потоки, лесопожарная опасность

Ссылка для цитирования: Санников С.П., Побединский В.В., Бородулин И.В., Побединский А.А. Метод радиочастотного мониторинга лесного фонда // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 45–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-45-54

Мониторинг лесного фонда с использованием современных технологий является практически направлением научных исследований, которое получило поддержку на государственном уровне в качестве одного из приоритетных в лесной отрасли [1, 2]. Многие страны, в том числе и Россия, несут огромные потери от лесных пожаров и незаконных рубок [3]. Эти проблемы наносят лесохозяйственникам и лесозаготовителям страны большие убытки, во многом по причине недостаточного обеспечения информацией о лесном фонде. Своевременное принятие управленческих решений невозможно на базе информации, которая поступает с запозданием. Правительство России делает все возможное, создает новые законы, но ситуация не улучшается. Созданная Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней [4] позволяет вести контроль заготовленной древесины, а древесина, которая остается в лесу учитывается через таксационные мероприятия, т. е. это модельная древесина, а не фактически существующая. Имеющиеся методы получения информации для мониторинга древостоев не отвечают потребностям современности по разным причинам. В основном это несвоевременность и низкая точность результатов.

Наиболее эффективно решить эти вопросы можно с использованием современных инфор-

мационных технологий на всех уровнях управления лесами: на уровне лесничеств, арендаторов лесных участков, лесозаготовителей [5].

В ряде работ обосновано применение радиочастотных идентификационных устройств, созданных по технологии RFID [6], работающих на различных частотах стандарта Gen-2 [7] (как пассивных, так и активных) для автоматизированного получения, сбора, передачи и обработки данных о состоянии древостоя, лесной среды и транспортировки лесоматериалов [8, 9].

В работе [10] рассмотрена возможность использования пассивных радиочастотных идентификационных меток на поверхностных акустических волнах при транспортировке круглых лесоматериалов на предприятии.

Таким образом, радиочастотный мониторинг лесного фонда является достаточно новым научным и практически направлением, для которого еще не разработаны терминология, классификация, методы проектирования и применения систем.

Цель настоящей работы — терминологическое и классификационное определения систем радиочастотного мониторинга лесной среды, разработка аналитических выражений расчета основных параметров, обоснование типа, конструктивного решения и способов использования автоматизированной системы контроля перемещения лесоматериалов и состояния лесного фонда.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) обосновать терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды;

2) разработать классификацию видов радиочастотного мониторинга лесной среды;

3) создать систему мониторинга для контроля перемещения лесосырьевых потоков;

4) разработать метод использования радиочастотных устройств для мониторинга пожарной опасности в лесах.

Рассмотрим перечисленные задачи по порядку.

Терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды

Радиочастотный мониторинг лесного фонда относится к дистанционным видам, таким как авиационный, космический мониторинг или наблюдения с помощью наземных электронных приборов, фото-видеокамер, установленных на расстоянии от пункта наблюдения. Информацию получают по проводным или беспроводным линиям связи. К беспроводным линиям связи относятся прямой радиоканал, спутниковая, сотовая, световая (лазерная) связь и пр. Проводные линии связи — это кабельные и оптические каналы.

Электромагнитные волны радиочастотного диапазона являются надежным носителем для передачи информации о состоянии лесной среды, в чем можно убедиться по множеству мобильных и стационарных устройств бытового и профессионального назначения. Кроме того электромагнитные волны обладают многими полезными физическими свойствами, например, дифракционными — способностью огибать материальные предметы, стволы и сучки деревьев; проникающими — способностью проникать в глубину древесины, которой присуще волновое сопротивление; отталкивающими — возможностью отталкиваться от поверхности. Электромагнитные волны реагируют на температуру, влажность среды и материалов, на электрическую и магнитную проницаемость (проводимость) среды и материалов [11–14].

Измерение перечисленных свойств электромагнитных волн при радиочастотном мониторинге позволяет получить параметры для контроля состояния лесной среды и лесных пожаров, геометрических размеров отдельных древостоев, перемещения лесоматериалов [15]. Все это открывает огромные возможности для создания технологии радиочастотного мониторинга. В целом, это принципиально новое научное и практи-

ческое направление в лесной отрасли, которому можно дать следующее определение: радиочастотный мониторинг — это метод получения информации о состоянии лесной среды, характеристиках древостоев и сырьевых потоках.

Классификация видов радиочастотного мониторинга лесной среды

Метод радиочастотного мониторинга лесного фонда можно применять для получения обширной информации о состоянии леса с большим количеством параметров, как показано в работах [5, 6]. Реализация метода предусматривает использование специальных нестандартных устройств для сбора информации о параметрах лесного фонда [6]: о наличии дерева в определенном месте или его санкционированном перемещении, о концентрации газов в лесу, например, O_2 , O_3 , CO , CO_2 , CO_3 , метана дыма и пр., о влажности и температуре лесной среды, о размерах и приросте дерева. Список функций устройств можно продолжить — это зависит от их назначения и контролируемых параметров для управления лесным фондом. Важно, чтобы радиочастотное устройство обязательно содержало идентификационный номер (метку). Это необходимо для регистрации в базе данных такого устройства, закрепленного на конкретном дереве или лесоматериале. Основные функциональные возможности метода радиочастотного мониторинга учтены при разработке классификации устройств (таблица).

По источнику питания радиочастотные устройства мониторинга лесного фонда подразделяют на пассивные, активные и смешанные. У пассивных устройств энергия питания наводится электрическим или магнитным полем передатчика в колебательном контуре устройства, которое используется для формирования ответного импульса с идентификационным номером. К активным устройствам энергия индивидуального источника питания подводится через соединение (коннектор, пайку). Современные химические элементы питания могут работать до 20 лет. Аккумуляторы можно подзаряжать от альтернативного источника питания [8]. Смешанные системы комплектуются устройствами различного типа.

В зависимости от назначения радиочастотные устройства могут содержать идентификационные номера, датчики состояния лесной среды или измерительное устройство параметра дерева, атмосферы и др. Многообразие радиочастотных устройств позволяет разрабатывать различные системы контроля и управления лесным фон-

Классификация устройств радиочастотного мониторинга лесной среды
The classification of radio frequency monitoring devices used in the forest environment

Классификационный критерий	Определение
Вид	Пассивный; активный; полупассивный
Систематизация	По рабочей частоте; по источнику питания; по типу памяти
Назначение устройства	Радиочастотная метка с идентификационным номером; датчик с идентификационным номером; измерительное устройство с идентификационным номером; приемное устройство;
Дальность действия	Ближнего действия (до 20 см); средней дальности (от 20 см до 5 м); дальнего действия (от 5 до 300 м)
Приемное устройство	Считыватель; координатор; маршрутизатор;
Применение устройства по назначению	Охрана деревьев и лесоматериалов; раннее предупреждение о возникновении лесного пожара; измерение прироста дерева (геометрических размеров); измерение температуры воздуха под пологом леса; измерение влажности воздуха под пологом леса, влажности древесины; измерение концентрации газов под пологом леса; управление потоками перемещения лесоматериалов (логистика); измерение объемов лесоматериалов в древостоях; автоматизация управления лесозаготовительной машиной (комплексом машин)
Рабочий диапазон частот (выделенный)	125–134 кГц: низкочастотные (LF — Low Frequency); 13,553–13,567 МГц: высокочастотные (HF — High Frequency); 433,075–434 МГц; 860–930 МГц: ультравысокие частоты (UHF — Ultra High Frequency); 5,65–6,425 ГГц: сверхвысокочастотные (SHF — Super High Frequency)
Память (размер)	От 4 байт до 8 Кбайт
Память (тип)	RO (англ. <i>Read Only</i>) — данные записываются только один раз, при изготовлении; WORM (англ. <i>Write Once Read Many</i>) — идентификационный номер метки + блок памяти с однократной записью; RW (англ. <i>Read and Write</i>) — идентификационный номер метки и блок памяти для чтения и записи информации
Источник электропитания: а) пассивный б) активный	а) Наведенная энергия передатчика в колебательном контуре метки; б) химический элемент питания; альтернативный источник питания (солнечная батарея, элемент Пелье, ионистор, атомный элемент с преобразователем и др.)

дом. Частотный диапазон зависит от назначения устройства и выполняемых им задач [3, 7].

Система мониторинга для контроля перемещения лесосырьевых потоков

Система мониторинга должна способствовать обеспечению сохранности и полноте учета древесины с момента заготовки и транспортировки до передачи ее заказчику (предприятию). Исследования, проведенные по госбюджетной теме в рамках Уральского лесного технопарка, показали эффективность предлагаемого метода мониторинга перемещения лесосырьевых потоков на основе технологии радиочастотного мониторинга [16]. Контроль перемещения лесоматериалов выполняется с помощью автоматизированной информационной системы, в которой данные поступают от датчиков радиочастотных устройств, расположенных на возможных направлениях транспортировки лесоматериалов [17].

Основой для создания системы являются устройства RFID, размещаемые на стволах деревьев и в сети взаимосвязанных сканеров RFID (считывателей), расположенных на маршрутах движения сырьевых потоков, информация с которых поступает на сервер в базу данных. Система позволяет выполнять сбор информации для контроля и другим способом, например, в ходе патрулирования участков на автомобиле или путем пешего обхода с последующей передачей данных на сервер. Пример расположения электронных сканеров показан на рис. 1. Транспортировка осуществляется автомобильным транспортом. Проехать зону действия сканера и остаться незафиксированным невозможно. Для этого не требуется останавливать транспорт (лесовоз) и проверять документы, тем более что работник полиции не может на месте определить, законно ли вывозится данный груз. Предлагаемая система автоматически, без участия человека, определяет количество груза, место заготовки древесины и место транспортировки. Для рабо-

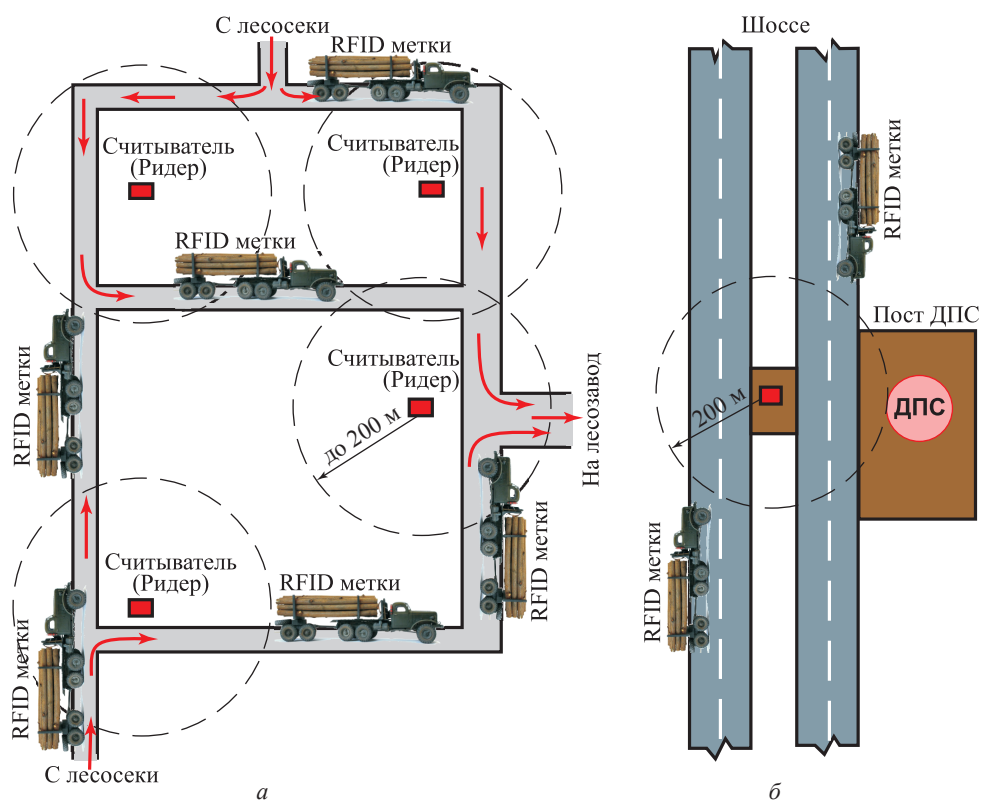


Рис. 1. Схемы расположения сканирующих устройств на второстепенных (проселочных) (а) и магистральных (б) дорогах
 Fig. 1. The schemes for location of scanning devices on secondary (country-side) roads (a) and on main highways (b)

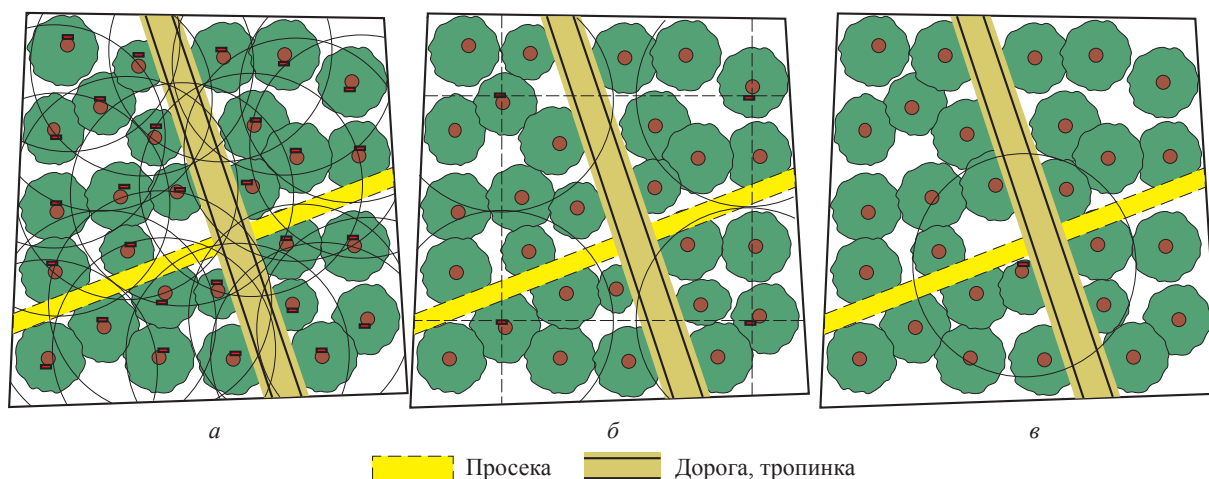


Рис. 2. Схемы расположение устройств RFID на лесном участке системы мониторинга леса: а — выборочная (сплошная) установка датчиков; б — установка датчиков по координатной сетке; в — установка датчиков по периметру участка (в узлах, пересечениях просек и т. д.)
 Fig. 2. The layout of RFID devices located on the plot of the forest monitoring system: a — selective (solid) installation of sensors; б — installation of sensors on the grid; в — installation of sensors along the plot perimeter (in nodes, intersections of glades, etc.)

ты необходимо, чтобы оборудование сотрудника контроля было подключено к системе мониторинга движения сырья. Отсюда следует, что с помощью существующих систем мониторинга, таких как фотоснимки, периодически получаемые со спутника, или периодический обход участков работниками леса, можно в лучшем случае

констатировать вывозку лесных ресурсов, но нельзя установить, в какое время и кем совершена вывозка древесины. Предлагаемая система обладает максимальной оперативностью, своевременным (в режиме реального времени) обеспечением соответствующих служб информацией о движении лесных ресурсов [5].

Возможные схемы расположения устройств RFID на деревьях (лесоматериалах) с датчиками контроля перемещения показаны на рис. 2:

1) *сплошная* или *выборочная* установка (на особо ценных породах деревьев с высоким риском незаконных рубок) (рис. 2, а);

2) установка по *координатной сетке*. Координатная сетка строится в зависимости от радиуса действия RFID-датчиков (например, если радиус действия датчика 200 м, то шаг сетки должен быть 400 м) (рис. 2, б);

3) установка по *периметру* участка (квартала, лесосеки) (рис. 2, в).

Первые две схемы дают лучшие результаты и их можно рекомендовать для решения большинства задач при управлении лесами (уход за лесом, контроль рубок леса, охрана лесов, предупреждение пожаров и пр.).

Сканирование данных с датчиков можно осуществлять всеми доступными способами, включая использование и переносных сканеров. Различие между способами состоит в том, что одни способы дают более полную информацию, чем другие. Допускается построение сети на базе стационарных сканирующих устройств по схеме, изображенной на рис. 1.

Использование радиочастотных устройств для мониторинга пожарной опасности в лесах

Проблема контроля лесных пожаров связана с запаздыванием при обнаружении пожара и принятии решений по его ликвидации. Предупреждать пожары на ранних стадиях гораздо эффективней, чем ликвидировать их на больших площадях. Здесь широкое применение нашли глобальные способы мониторинга лесов, например, со спутников или других летательных аппаратов, вышек видеонаблюдения и пр. Эти технологии, кроме достоинств имеют и существенные недостатки — задержку во времени и обязательное участие человека в качестве оператора.

Альтернативой существующим методам мониторинга лесов является технология на основе радиочастотных устройств, объединенных в локальную сеть. Они способны работать без участия человека или при минимальном его участии (которое заключается, например, в установке радиочастотных устройств в лесу, обслуживании устройств по сбору и передаче данных). Радиочастотные устройства в зависимости от функции могут реагировать на изменение состояния лесной среды — на концентрацию дыма, температуру, фитомассу, прирост дерева, незаконные рубки деревьев и их перемещение [6].

Для проектирования таких систем необходимы аналитические модели основных параметров радиоизлучения, которые были получены при проведении настоящего исследования с использованием экспериментальных данных. Эксперименты показали, что значения ослабления мощности в радиоканале можно лишь в первом приближении описывать известным логарифмически-нормальным законом по формуле [16]

$$PL(d) = \overline{PL}(d) + X_{\sigma} = \overline{PL}(d_0) + 20n \lg \frac{d}{d_0} + X_{\sigma}, \quad (1)$$

где $\overline{PL}(d)$, $\overline{PL}(d_0)$ — средние крупномасштабные потери соответственно при произвольном и опорном расстоянии между излучателем и приемником (черта показывает среднее из возможных значений потерь для данного расстояния d), дБ;

d — расстояние между излучателем R и приемником T , а также расстояние от излучателя до границы отсчета, м;

X_{σ} — случайная величина с нормально-логарифмическим законом распределения со стандартной девиацией, зависящая от проводимости σ среды, дБ;

d_0 — опорное расстояние, равное 0,1 м;

n — степень дифракции, показывает, с какой скоростью возрастают потери передачи от расстояния.

Значения n и d взяты по экспериментальным данным при $X_{\sigma} = 0$. Для определенных условий данные величины достаточно точные, поскольку значение $PL(d)$ является случайной величиной с нормальным распределением по шкале дБ от расстояния d и можно считать, что так же случайно распределена функция мощности принимаемой антенны

$$P_R(d) = P_T(d) - PL(d),$$

где $P_T(d)$ — мощность, излучаемая антенной RFID-устройства с коэффициентом усиления G_T на расстоянии d .

Для оценки отражения от поверхности кроны, сучьев и стволов деревьев можно использовать сетку кривых, предложенную в работе [16] для расчета среднего ослабления сигнала в свободном пространстве A_{ma} в условиях многократного отражения с квазигладким профилем изотропной поверхности, которой соответствуют стволы деревьев. Источник сигнала поднят на эффективную высоту h_{re} станции опроса, тогда RFID-датчик, поднятый на высоту, имеет параметр h_{re} ($h_{re} \gg h_{re}$). Графики (рис. 3), полученные в результате множества измерений с ненаправленными антеннами станции опроса и датчика, приведены для частот ~900 МГц как функция расстояния до 100 м.

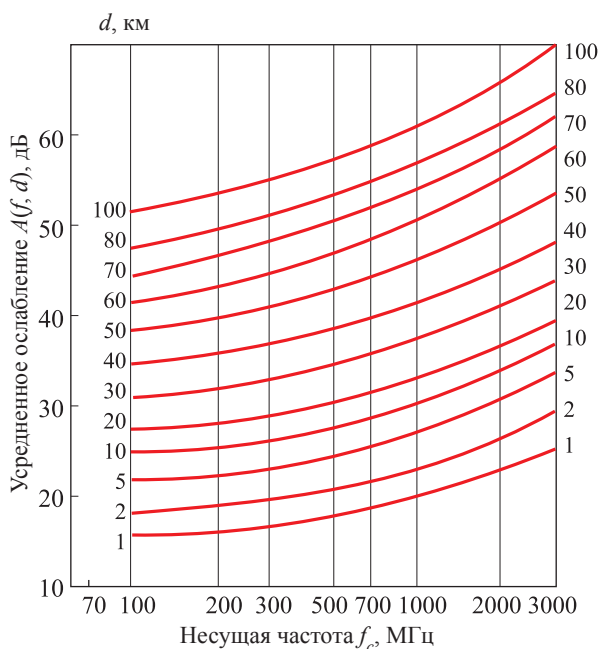


Рис. 3. Частотное распределение усредненного ослабления сигнала по отношению к свободному пространству для квазигладкого профиля радиоканала

Fig. 3. Frequency distribution of the averaged signal attenuation with respect to free space for a quasi-smooth radio channel profile

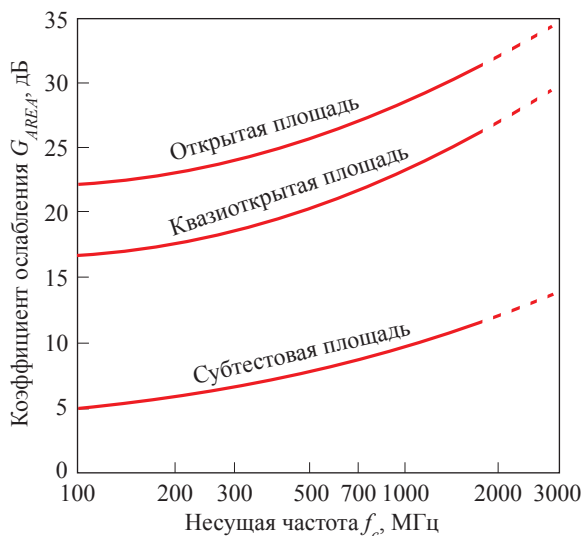


Рис. 4. Поправочный коэффициент, обусловленный профилем радиоканала

Fig. 4. The correction factor due to the profile of the radio channel

Для определения средней величины потерь L_{50} , дБ на линии распространения радиоволны рассчитывают ослабление поля в свободном пространстве L_F , затем по кривым графика (см. рис. 3) находят величину $A_{ma}(f, d)$ и добавляют к ослаблению в свободном пространстве с корректирующей поправкой, зависящей от степени неровности профиля местности меж-

ду датчиком и станцией опроса по следующей формуле

$$L_{50} = -L_F + A_{ma}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}, \quad (2)$$

где A_{ma} — усредненное дополнительное ослабление, обусловленное влиянием земной поверхности;

$G(h_{te})$ — эффективное усиление передающей антенны;

$G(h_{re})$ — эффективное усиление приемной антенны;

G_{AREA} — поправочный коэффициент (берется из графика на рис. 4).

В работе [16] сделан вывод, что величина $G(h_{te})$ изменяется на величину 20 дБ/дек, а $G(h_{re})$ для высот менее 3 м — 10 дБ/дек. Предложенная в [16] модель построена на экспериментальных данных, что облегчает ее использование в различных расчетах. Графики, полученные в [16], можно экстраполировать для различных условий в зависимости от решаемой задачи. Результаты являются стандартом при расчете систем связи и устройства сетей в Японии.

Главным недостатком модели, описанной уравнением (2), является использование графиков и невозможность полноценного учета быстро изменяющихся условий местности, например порывов ветра, колебаний крон, осадков и пр. В основном рассмотренный метод используется при расчете радиоканала для сложных условий на неоднородной местности. Разница значений расчетных и экспериментально измеренных напряженностей поля не превышает 10...13 дБ.

Приведенные исследования показали, что результаты могут быть использованы для расчетов автоматизированной системы сбора и передачи данных мониторинга леса. Но поиск конструктивных решений по увеличению дальности канала передачи данных с устройствами RFID продолжается. Например, если решить задачу увеличения мощности радиочастотных устройств при определенной длине волны λ несущей частоты считывателя, можно значительно увеличить расстояние от датчика RFID до считывателя.

Механизм распространения радиоволн в лесной среде разнообразен, но в основном обусловлен отражением, дифракцией и рассеянием. Большинство систем работают в местах с отражающими элементами, где нет прямой видимости антенн передатчика и приемника, а наличие высоких деревьев вызывает большие дифракционные потери. Из-за многократного отражения от различных объектов радиоволны накладываются друг на друга, т. е. создают шумы. Интерференция этих волн вызывает сильное измене-

ние уровня сигнала от сканирующего устройства и RFID-датчика.

Для предсказания среднего уровня принимаемого сигнала на расстоянии от излучателя и определения разброса его значений в зависимости от конкретной ситуации на радиотрассе авторы работ [18, 19] выполнили моделирование распространения радиоволн. Расчет радиолинии позволил определить зону обслуживания станции опроса и RFID-датчика, т. е. места их расположения, и топологию сети.

При перемещении приемника станции опроса относительно RFID-датчика даже на малые расстояния принимаемый сигнал может изменяться в больших пределах. Это происходит из-за того, что принимаемый сигнал представляет собой сумму многих волн с разным направлением, проходящих разное расстояние и имеющих различную амплитуду и фазу. Экспериментально установлено [16], что суммарный сигнал подчиняется закону Релея, а в зависимости от радиоканала изменения мелкомасштабной девиации могут составлять 3–4 порядка, т. е. уровень сигнала может изменяться на 30...40 дБ (рис. 5).

Разработана модель распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, которая используется для расчета принятого сигнала в условиях, когда передающая и приемная антенны находятся на открытой местности, не затененной препятствиями [16]. Эту модель можно рекомендовать для расчета радиоканалов других систем, например, для связи через спутник. Мощность, принимаемая приемной антенной с усилением G_r , которая излучается антенной передатчика мощностью P_t с коэффициентом усиления G_t на длине волны λ (м) и на расстоянии d на открытом неограниченном пространстве, рассчитывается по формуле [18]

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}.$$

Коэффициент усиления антенны G определяется из выражения

$$G = \frac{4\pi \cdot A_e}{\lambda^2},$$

где A_e — эффективная площадь поверхности антенны, м².

Длина волны λ , м, связана с несущей частотой и определяется соотношением

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где c — скорость света;

f — частота радиоизлучения.

Принимаемая антенной мощность в соответствии с выражением (1) убывает с ростом расстояния

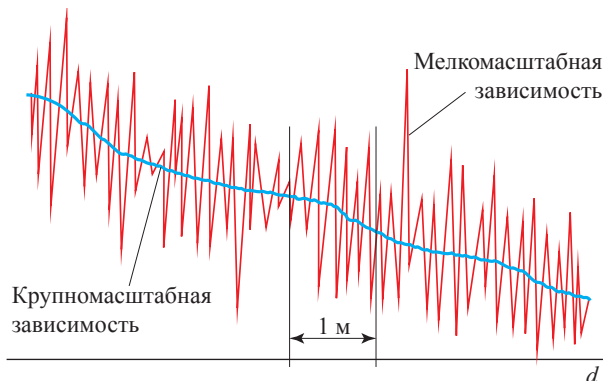


Рис. 5. Зависимость изменения напряженности поля от расстояния d до передающей антенны с учетом влияния случайных факторов на частоте 900 МГц

Fig. 5. The change in the field strength as a function of the distance to the transmitting antenna, taking into account the influence of random factors at 900 MHz

яния d со скоростью 20 дБ/дек, т. е. пропорционально множителю $1/d^2$.

Потери передачи, дБ, в радиоканале PL (отношение принятой и излученной мощности) рассчитывают по формуле

$$PL = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right].$$

Изменение уровня принимаемой мощности $P_r(d_0)$ в зависимости от расстояния очень велико, поэтому мощность в дБ/мВт (децибеллах по отношению к 1 милливатту) или в дБ/Вт (децибеллах по отношению к 1 ватту) по формуле

$$P_r(d) = 10 \lg [P_r(d_0)] + 20 \lg \left[\frac{d_0}{d} \right],$$

$$d \geq d_0 \geq d_r$$

где значения $P_r(d_0)$ подставляют в Вт.

Опорное расстояние d_0 обычно выбирается равным 100 м или кратным ему. В лесных массивах с высокой плотностью деревьев на единицу площади рекомендуется принимать $d_0 = 1$ м.

Таким образом, предложенная система радиочастотного мониторинга пожарной опасности с вариантами схем расположения устройств RFID на лесном участке и уравнения для расчетов основных параметров радиосигнала в лесной среде апробированы экспериментально и могут быть использованы в практике лесопользования и лесопользования.

Выводы

1. Предложено терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды, которое может быть использовано для соответствующих нормативных документов.

2. Разработана классификация устройств радиочастотного мониторинга лесной среды по видам функциональных признаков, которые использовались в экспериментальных системах мониторинга.

3. Показано, что электромагнитные волны радиочастотного диапазона являются надежным носителем информации о состоянии лесной среды, а также обладают дифракционными, проникающими и отражающими свойствами. По соответствующим измерениям можно определять параметры дерева, лесной среды, количество древостоя с точностью до одного ствола, размеры прироста леса и другие таксационные показатели.

4. Разработана система мониторинга для контроля лесосырьевых потоков с различными вариантами расположения радиочастотных устройств.

5. Разработаны метод использования и система радиочастотных устройств для мониторинга пожарной опасности в лесах путем измерения концентрации дыма и различных газов, температуры. Предложенные аналитические зависимости расчета основных параметров радиочастотного сигнала достаточно адекватны и могут быть рекомендованы для проектирования таких систем.

Список литературы

- [1] Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года / Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 26 сентября 2013 г. № 1724-р.
- [2] Лесной кодекс Российской Федерации от 21.07.2014 г. № 200. URL: <http://www.leskod.ru> (дата обращения: 24.10.2016).
- [3] Санников С.П., Герц Э.Ф., Шипилов В.В., Серков П.А. Моделирование системы мониторинга перемещения лесосырьевых потоков и пожаров на основе синергетической сети RFID датчиков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. № 2-С. С. 104–110.
- [4] Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС УДиС). URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/> (дата обращения: 24.10.2016).
- [5] 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: Матер. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. Вологда: ВоГТУ, 2009. С. 269–271.
- [6] Серебренников М.Ю., Санников С.П. Возможности и перспективы использования RFID-технологии в таксационных исследованиях управления лесами // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. VII Всероссийской науч.-техн. конф. Ч. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 58–60.
- [7] RFID-системы стандарта EPC Gen2. URL: <https://habrahabr.ru/post/194908/> (дата обращения: 15.12.2016).
- [8] Санников С.П., Герц Э.Ф. Сбор данных о состоянии и транспортировке леса // Формирование регионального лесного кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса: Матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 21–25.
- [9] Мезенцев Д.К., Санников С.П. Система контроля движения лесосырьевых потоков // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. VII Всероссийской науч.-техн. конф. Ч. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 39–40.
- [10] Создание системы мониторинга перемещения и поштучной автоматической идентификации круглых лесоматериалов в цепи поставок / Э.О. Салминен, А.А. Борозна, Н.В. Черная, М.В. Симоненков, И.В. Бачериков // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов». Минск: БГТУ, 2015. № 1. С. 15–18.
- [11] Чухланцев А.А., Шутко А.М., Головачев С.П. Ослабление электромагнитных волн растительными покровами // Радиотехника и электроника, 2003. Т. 48. № 11. С. 1285–1311.
- [12] Pampaloni P. Microwave radiometry of forests // Waves in Random Media, 2004, no. 14, pp. 275–298.
- [13] Tamir T. On radio wave propagation in forest environments // IEEE Trans. Antennas and Propag., 1967, v. 15, no. 6, pp. 806–817.
- [14] Herbstreit J.W., Crichlow W.Q. Measurement of the attenuation of radio signals by jungles // J. Res. Nat. Bur. Standarts, 1964, no. 8. pp. 903–906.
- [15] Серков П.А., Санников С.П. Измерение радиопоглощения в задачах локального лесного мониторинга // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. X Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «УМНИК». Ч. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. С. 209–211.
- [16] Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // Review of the Electr. Commun. Lab, 1968, v. 16, no. 9–10, pp. 825–873.
- [17] 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.
- [18] Система раннего предупреждения пожаров на основе мониторинга лесов / В.Г. Лисиенко, Э.Ф. Герц, Е.М. Шлеймович, С.П. Санников, В.В. Шипилов, С.С. Сусллова, Д.Г. Суслов // Тр. Рос. науч.-техн. общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. Вып. V. Матер. Междунар. симп. «Инженерная экология – 2009» (совместно со школой-семинаром молодых ученых), Москва, 9–11 декабря 2010 г., Институт радиотехники и электроники РАН, Институт проблем экоинформатики РАН. М.: Институт радиотехники и электроники РАН; Институт проблем экоинформатики РАН, 2010. С. 107–109.
- [19] Зависимость падения мощности сигнала от параметров лесной среды при радиочастотном мониторинге лесного фонда / С.П. Санников, В.В. Побединский, И.В. Бородулин, М.А. Черницын, Н.С. Кузьминов // Системы. Методы. Технологии, 2016. № 4 (32). С. 181–187. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_27517939_10915658.pdf (дата обращения: 15.12.2016).

Сведения об авторах

Санников Сергей Петрович — канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры «Автоматизация производственных процессов» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: SSP-mail@mail.ru

Побединский Владимир Викторович — д-р техн. наук, профессор кафедры сервиса и технической эксплуатации Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: pobed@e1.ru

Бородулин Игорь Викторович — аспирант кафедры сервиса и технической эксплуатации Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: ugadn66@bk.ru

Побединский Андрей Анатольевич — соискатель кафедры «Автоматизация производственных процессов» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: SSP-2@e1.ru

Статья поступила в редакцию 15.03.2017 г.

THE METHOD OF THE TIMBER STOCK RADIO-FREQUENCY MONITORING

S.P. Sannikov, V.V. Pobedinsky, I.V. Borodulin, A.A. Pobedinsky

Ural State Forestry University» (USFEU), 37, Siberian highway st., Ekaterinburg, Russia, 620100

ssp-54@mail.ru

The article deals with some problems of radio-frequency monitoring of the timber stock in this country. The purpose of studies is to give terminological and taxonomic definitions of the systems of timber stock radio-frequency monitoring, to develop the analytical expressions of the main parameter calculation, to substantiate the type, the structural choice and the way of using the automatic systems of monitoring the timber transportation and the forest stand conditions. *Materials and methods.* The method and the system of radio-frequency monitoring by using the RFID device allow rapidly to get information about the forest stand conditions and about a forest habitat as a whole. Having combined some RFID sensors and detectors into a local network, it is possible to get all necessary information about timber transportation, the means of transport, a wildfire accident, the atmospheric condition in any point of a forestland by taking into account gas or smoke concentration, about temperature, moisture, recruitment and other forest survey factors. To calculate the main parameter of a radio-frequency signal some related analytical dependencies have been derived. *Results.* 1. The terminological definition of the forest habitat radio-frequency monitoring has been substantiated. 2. The classification of types of the forest habitat radio-frequency monitoring has been suggested. 3. The systems of the timber transportation control have been developed. 4. The method of using radio-frequency devices to prevent any fire hazard in forests has been developed, and the analytical dependencies of calculating the radio-frequency signal main parameters in a forest habitat have been found. The suggested method of radio-frequency monitoring, certain variants of the RFID device network topology, the analytical expressions to make calculations, the experimental data can be recommended for practical use in the forest management and in the forest exploitation.

Keywords: radio-frequency monitoring of the timber stock; RFID device network; the forest habitat parameters; raw wood material flows; forest fire hazard

Suggested citation: Sannikov S.P., Pobedinsky V.V., Borodulin I.V., Pobedinsky A.A. *Metod radiochastotnogo monitoringa lesnogo fonda* [Method radio-frequency monitoring the timber fund]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 45–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-45-54

Reference

- [1] *Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [Fundamentals of state policy in the use, protection, conservation and regeneration of forests in the Russian Federation for the period until 2030]. Government of the Russian Federation. Order No. 1724-r of September 26, 2013. (in Russian)
- [2] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Forest Code of the Russian Federation]. Federal Law of July 21, 2014. Available at: <http://www.lescad.> (24.10.2016). (in Russian)
- [3] Sannikov S.P., Hertz E.F., Shipilov V.V., Serkov P.A. *Modelirovanie sistemy monitoringa peremeshcheniya lesosyr'evykh potokov i pozharov na osnove sinergeticheskoy seti RFID datchikov* [Modeling of the monitoring system to trace the movement of forest resources flows and forest fires which is based on the synergistic network of RFID sensors]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*. 2014. № 2-C. 104-110. (in Russian)

- [4] *Edinaya gosudarstvennaya avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema ucheta drevesiny i sdelok s ney (EGAIS UDiS)* [A Unified State Automated Information System for Timber Inventory and Transactions (EAAIS UDiS)]. Available at: <http://www.roslechos.gov.ru/accidents/> (24.10.2016). (in Russian)
- [5] Sannikov S.P., Gerts E.F. *Informatsionnye tekhnologii v upravlenii lesami* [Information technology in forest management] Informatization of the processes of the formation of open systems on the basis of CAD, ASNI, DBMS and the system of artificial intelligence: Materials of the 5-th international. Scientific techn. Conf. Vologda: VSTU Publ., 2009. pp. 269-271. (in Russian)
- [6] Serebrennikov M.Yu., Sannikov S.P. *Vozможности i perspektivy ispol'zovaniya RFID-tekhnologii v taksatsionnykh issledovaniyakh upravleniya lesami* [Opportunities and prospects of using RFID technology in taxation studies of forest management] Scientific creativity of youth - to the forest complex of Russia. Materials VII All-Russian scientific technical Conf. P. 1. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011. pp. 58-60. (in Russian)
- [7] *RFID-sistemy standarta EPC Gen2* [RFID-systems of the EPC standard Gen2]. Available at: <http://habrahbr.ru/post/194908/> (reference date: December 15, 2016). (in Russian)
- [8] Sannikov S.P., Gerts E.F. *Sbor dannykh o sostoyanii i transportirovki lesa* [Collection of data on the condition and transport of the forest] Formation of a regional forest cluster: socio-economic and ecological problems and forest complex perspectives. Materials of the 8th International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011. pp. 21-25. (in Russian)
- [9] Mezentsev D.K., Sannikov S.P. *Sistema kontrolya dvizheniya lesosyr'evykh potokov* [The system for controlling the movement of forest resources flows] Scientific creativity of youth - to the forest complex of Russia. Materials VII All-Russian scientific-technical Conf. P. 1. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011. pp. 39-40. (in Russian)
- [10] Salminen E.O., Borozna A.A., Chernaya N.V., Simonenkov M.V., Bacherikov I.V. *Sozдание sistemy monitoringa peremeshcheniya i poshtuchnoy avtomaticheskoy identifikatsii kruglykh lesomaterialov v tsepi postavok* [Creation of a monitoring system for moving and piece-by-piece automatic identification of round timber in the supply chain] Materials of the international scientific and technical conference Automated control and automation of production processes. Minsk: BSTU Publ., 2015. № 1, pp. 15-18. (in Russian)
- [11] Chukhlantsev A.A., Shutko A.M., Golovachev S.P. *Oslablenie elektromagnitnykh voln rastitel'nymi pokrovami* [Weakening of Electromagnetic Waves by Plant Beds] Radio Engineering and Electronics, 2003, v. 48, no. 11, pp. 1285-1311. (in Russian)
- [12] Pampaloni P. Microwaves radiometers of forests. *Waves in Random Media*. 2004.14. pp. 275-298.
- [13] Tamir T. On radio wave propagation in forest environments // *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1967, v. 15, no. 6, pp. 806-817.
- [14] Herbstreit J.W., Crichlow W.Q. Measurement of the attenuation of radio signals by jungles // *J. Res. Nat. Bur. Standarts*, 1964, no. 8. pp. 903-906.
- [15] Serkov P.A., Sannikov S.P. *Izmerenie radiopogloshcheniya v zadachakh lokal'nogo lesnogo monitoringa* [Measurement of radio absorption in local forest monitoring tasks] Scientific creativity of youth - to the forest complex of Russia. Materials X All-Russian scientific-technical. Conf. Students and graduate students and the competition under the program "UMNIK" P. 1. Ekaterinburg: UGLTU, 2014, pp. 209-211. (in Russian)
- [16] Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // *Review of the Electr. Commun. Lab*, 1968, v. 16, no. 9-10, pp. 825-873.
- [17] Gerts E.F., Sannikov S.P. *Metodika provedeniya monitoringa dvizheniya syr'evykh potokov v lesopromyshlennom proizvodstve na osnove RFID-tekhnologii* [Methods for monitoring the movement of raw materials in the timber industry based on RFID technology] Formation of a Regional Forest Cluster: Socio-economic and Ecological Problems and Forest Complex Prospects. Mater. International Research Institute of Intern. Scientific-techn. Conf. Ekaterinburg: UGLTU, 2011, pp. 354-358. (in Russian)
- [18] Lisienko V.G., Gerts E.F., Shlyemovich E.M., Sannikov S.P., Shipilov V.V., Suslova S.S., Suslov D.G. *Sistema rannego preduprezhdeniya pozharov na osnove monitoringa lesov* [Early warning system for fires based on forest monitoring] Proceedings of the Rossiysk Scientific and Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communications named after A.S. Popova. Series: Engineering Ecology. Issue: V. Materials of the international symposium engineering ecology - 2009 (in conjunction with the school-seminar of young scientists). Moscow: Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences. Institute of Ecoinformatics Problems of RAEN. Moscow: Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences. Institute of Ecoinformatics Problems RAEN, 2010. pp. 107-109. (in Russian)
- [19] Sannikov S.P., Pobedinskiy V.V., Borodulin I.V., Chernitsyn M.A., Kuz'minov N.S. *Zavisimost' padeniya moshchnosti signala ot parametrov lesnoy sredy pri radiochastotnom monitoringe lesnogo fonda* [Dependence of the signal power drop on the parameters of the forest environment during radiofrequency monitoring of the forest fund] Systems. Methods. Technologies. Bratsk, 2016, no. 4 (32), pp. 181-187. Available at: http://elibrary.ru/directory/librarians_27517939_10915658.pdf (circulation date: December 15, 2016). (in Russian)

Author's information

Sannikov Sergey Petrovich — Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Leading Researcher of the Department «Automation of Production Processes» of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: SSP-mail@mail.ru

Pobedinskiy Vladimir Viktorovich — Dr. Tech. Sci. Professor of the Department of Service and Technical Maintenance of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: pobed@e1.ru

Borodulin Igor' Viktorovich — postgraduate student of the Department of Service and Technical Maintenance of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: uga66@bk.ru

Pobedinskiy Andrey Anatol'evich — competitor of the Department Automation of production processes of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: SSP-2@e1.ru

Received 15.03.2017