



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ЛЕСАХ

Э. Ф. ГЕРЦ

доктор технических наук, профессор,

С. П. САННИКОВ,

кандидат технических наук, доцент,

В. М. СОЛОВЬЕВ,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, УГЛТУ

620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37;  
e-mail: SSP-mail@mail.ru

Положительная рецензия представлена С. Б. Якимовичем, доктором технических наук, профессором, Марийский политехнический университет.

**Ключевые слова:** мониторинг, экология, лес, радиочастотные устройства, RFID метки, ослабление сигнала, возможность использования.

**Keywords:** monitoring, ecology, wood, radio-frequency device, RFID marks, weakening of the signal, possibility of the use.

Леса являются не только основным регулятором содержания кислорода и углекислого газа в атмосфере, но они являются источником сырья для многих предприятий — это фанера, пиломатериалы и пр. Если леса являются неотъемлемой частью мировой экосистемы, то ими необходимо эффективно управлять, в том числе потреблением древесины, на основе использования новой прогрессивной информационной технологии [1, 2].

Еще одна проблема наблюдается в лесах, связана с пожарами. Предупреждать пожары на ранних стадиях гораздо эффективней, чем ликвидировать на больших площадях. В этой связи предлагаются глобальные способы мониторинга лесов, например, со спутников, летательных аппаратов, видеонаблюдательные вышки и пр. Вышеперечисленные технологии имеют при определенных положительных моментах существенные недостатки — задержка во времени, обязательного участия человека в качестве оператора.

Альтернативной технологией мониторинга лесов могут стать технологии на основе радиочастотных устройств (RFID устройств), объединенных в систему. Они способны без участия человека или при минимальном участии (например, установка датчиков, обслуживание устройств по сбору данных) нести различную информацию, в том числе о пожарах, несанкционированных рубках, о состоянии атмосферы в лесу (концентрация углекислого газа, температуры) и пр.

Автоматизированные системы по сбору информации в лесных массивах осуществляются при различных погодных условиях, при отсутствии электропитания. Устойчивая работа устройств длительное время. Электропитание необходимо только для устройств сбора, обработки и передачи информации. Радиочастотные устройства системы обладают возможностями, которые за небольшое время опроса могут накопить энергию из несущей частоты считывающего устройства и передать свои данные. С этой целью проведены исследования на прохождения радиоволн в лесу, их ослабления элементами деревьев.

Леса с их неоднородностью строения, по составу деревьев, их расположения, плотности прорастания сильно ослабляют прохождение радиоволн внутри лесного массива. Исследовались возможности использования радиоволн в сложных лесных условиях для передачи информации об основных параметрах, состоянии леса. Исследования проводились на частотах 900 МГц,

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.

Измерения показали, что экспериментальные величины ослабления мощности в радиоканале можно лишь в первом приближении описывать известным нормальным логарифмическим законом:

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

где  $\overline{P}(d)$   $\overline{P}(d_0)$  — средние крупномасштабные потери 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) и от излучателя до границы отсчета, м;

d<sub>0</sub> — опорное расстояние равно 0,1 м;

n — показатель степени дифракции, показывающий, с какой скоростью возрастают потери передачи от расстояния;

X<sub>σ</sub> — случайная величина с нормально-логарифмическим законом распределения со стандартной девиацией, зависящая от проводимости среды σ, дБ.

Величины n и d взяты из экспериментальных исследований при X<sub>σ</sub> = 0. Для определенных условий данная величина вполне устраивает, поскольку значение PL(d) — случайная величина с нормальным распределением по шкале дБ от расстояния d, то можно считать, что также случайно распределена функция мощности, принимаемой антенной:

$$PR(d) = PT(d) - PL(d),$$

где PT(d) — мощность, излучаемая антенной RFID устройства с коэффициентом усиления Gt на длине волны λ и на расстоянии d на открытом неограниченном пространстве n = 2.

Для оценки отражения от поверхности кроны, сучьев и стволов деревьев использовали сетку кривых, предложенную Okumura для расчета среднего ослабления сигнала, относительного ослабления в свободном пространстве A<sub>mi</sub>. В условиях многократного отражения с квазигладким профилем с изотропной поверхностью, поднятой на эффективную высоту h<sub>te</sub> станции опроса и RFID-датчик, поднятый на высоту h<sub>re</sub> (h<sub>te</sub> >> h<sub>re</sub>).



Графики получены в результате множества измерений с ненаправленными антеннами станции опроса и датчика, представлены для диапазона частот 920 МГц как функция расстояния до 100 м.

Для определения потерь на радиолинии рассчитывали ослабление поля в свободном пространстве, затем по кривым графика (рис. 1) определяли величину  $A_m(f, d)$  и, добавляя к ослаблению в свободном пространстве с корректирующей поправкой, зависящей от степени неровности профиля местности между датчиком и станцией опроса, по формуле:

$$L_{50} = -LF + A_m(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - GAREA, \text{ дБ},$$

где  $L_{50}$  — средняя величина потерь;

$LF$  — потери в свободном пространстве;

$A_m$  — усредненное дополнительное ослабление, обусловленное влиянием земной поверхности;

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

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

$GAREA$  — поправочный коэффициент из графика на рис. 2.

Кроме того, Okumura пришел к выводу, что величина  $G(h_{te})$  изменяется по закону 20 дБ/декада, а  $G(h_{re})$  для высот менее 3 м — 10 дБ/декада.

Модель полностью построена на экспериментальных данных, что облегчает ее использование в различных расчетах. Графики, полученные Okumura, можно экстраполировать для различных условий, в зависимости от решаемой задачи. Модель Okumura наиболее простая и достаточно точная для расчета потерь в системах передачи данных по радиоканалу. Она является стандартом при расчете систем связи и устройства сетей, передачи данных в Японии.

Главный недостаток модели — работа с графиками и невозможность полноценно учесть быстроизменяющиеся условия в профиле местности, например, порывы ветра, наклон (колебания кроны), дождь и пр.

В основном рассмотренный метод используется для расчета радиоканала для сложных условий, с неоднородностью местности. Разница расчетных и экспериментально измеренных напряженностей поля обычно не превышает 10–13 дБ.

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  $\lambda$  несущей частоты считывателя увеличит дальность от RFID устройства до считывателя.

Радиоволны от радиопередатчика сканирующего устройства (станции опроса) к приемнику RFID-датчика и обратно в систему сбора информации о лесе проходят путь как по прямой видимости, так и сильно закрытым препятствиям, например, стволами и кроной деревьев. В таком радиоканале передачи данных имеют множество случайных параметров. Моделирование, проектирование радиоканала — очень сложная задача [3]. Оно в основном выполняется статистически с использованием данных экспериментов, выполненных порой именно для такой же или аналогичной системы.

Механизм распространения радиоволн в системах связи различен, но в основном может быть представлен 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. Благодаря многократным отражениям от различных объектов, радиоволны проходят различный путь, накладываются друг на друга, т. е. создают шум. Интерференция этих волн вызывает сильное изменение уровня сигнала от положения сканирующего устройства и RFID-датчика.

Моделирование распространения радиоволн основано на предсказании среднего уровня принимаемого сигнала, на расстоянии от излучателя, а также в определении разброса его значений в зависимости от конкретной ситуации на радиотрассе. Расчет радиолинии позволяет определить зону обслуживания станции опроса и RFID-датчика, т. е. места их расположения.

Это нашло отражение в разработанной методике по взаимному расположению RFID-датчиков и сканирующих устройств, в зависимости от решаемой задачи. Моделирование среднего уровня сигнала в зависимости от расстояния между радиочастотным устройством и приемником называется крупномасштабным моделированием, поскольку позволяет определить сигнал на большом удалении (несколько сотен метров). С другой стороны, модели характеризуют быстроменяющиеся значения уровня

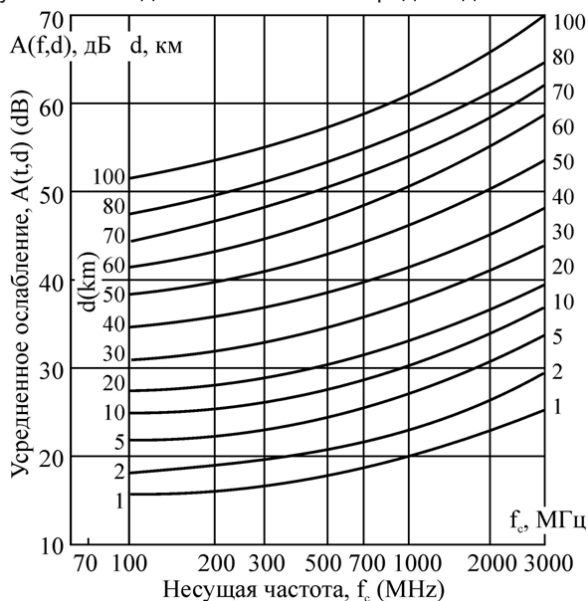


Рисунок 1  
Частотная зависимость усредненного ослабления сигнала по отношению к свободному пространству для квазигладкого профиля радиотрассы

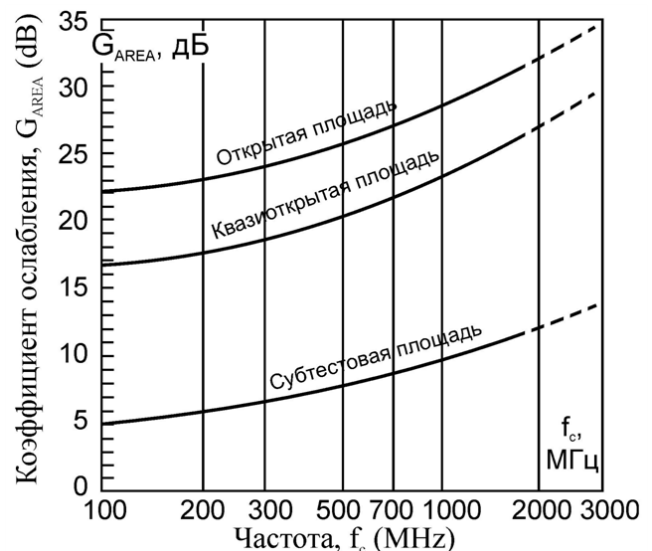


Рисунок 2  
Поправочный коэффициент, обусловленный профилем радиотрассы

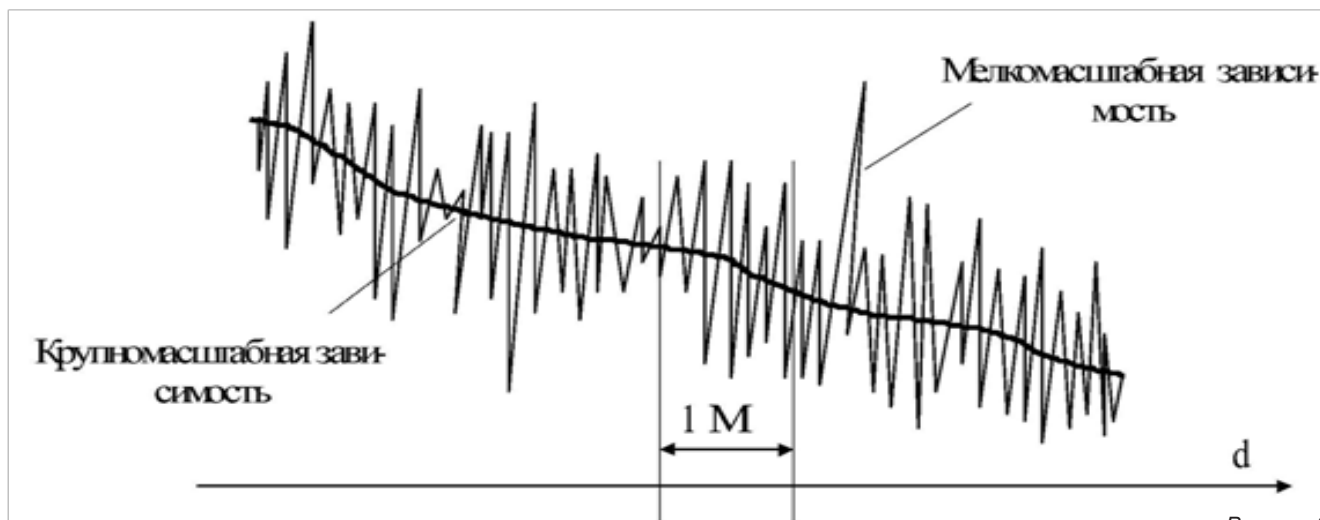


Рисунок 3  
Изменение напряженности поля в зависимости от расстояния до передающей антенны с учетом влияния случайных факторов на частоте 900 МГц

принимаемого сигнала на малых смещениях (несколько длин волн) или за короткое время (секунды) — они называются мелкомасштабными моделями.

При перемещении приемника станции опроса относительно RFID-датчика на малые расстояния принимаемый сигнал может меняться в больших пределах. Это происходит из-за того, что принимаемый сигнал представляет собой сумму многих волн, проходящих разное расстояние и имеющих различную амплитуду и фазу. Установлено, что суммарный сигнал подчиняется закону Релея. В зависимости от радиоканала мелкомасштабная девиация может меняться на 3–4 порядка, т. е. уровень сигнала может меняться на 30–40 дБ (рис. 3).

Если приемник станции опроса будет достаточно далеко, то средний уровень сигнала убывает. Ниже будет рассматриваться крупномасштабная зависимость сигнала на входе приемника.

Разработана модель распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, которая используется для расчета принятого сигнала в условиях, когда передающая и приемная антенны находятся на открытой незатененной местности. Эту модель можно применить для анализа 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  $\lambda$  (м) на расстоянии  $d$  на открытом неограниченном пространстве, рассчитывается по формуле:

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \quad (1).$$

Коэффициент усиления антенны определяли следующим образом:

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

где  $A_e$  — эффективная площадь поверхности антенны,  $m^2$ .

Длина волны связана с несущей частотой, определяли соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad m, \quad (3),$$

где  $f$  — частота;

$c$  — скорость света.

Принимаемая антенной мощность в соответствии с (1) убывает с ростом расстояния  $d$  со скоростью 20 дБ на декаду, т. е. пропорционально множителю  $1/d^2$ .

Потери передачи в радиоканале (отношение принятой и излученной мощностей):

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

Т. к. изменение уровня принимаемой мощности от расстояния очень велико, используют отсчет мощности в дБмВт (дБ по отношению к 1 милливатту) и дБВт (дБ по отношению к 1 Ватту):

$$P_r(d) [\text{дБмВт}] = 10 \cdot \lg \left[ \frac{P_r(d_0)}{1 \text{ мВт}} \right] + 20 \cdot \lg \left( \frac{d_0}{d} \right), \quad d \geq d_0 \geq d_f, \quad (5),$$

где  $P_r(d_0)$  подставляется в Вт:

$$P_r(d) [\text{дБВт}] = 10 \cdot \lg \left[ \frac{P_r(d_0)}{1 \text{ Вт}} \right] + 20 \cdot \lg \left( \frac{d_0}{d} \right).$$

Следовательно, опорное расстояние  $d_0$  обычно выбирают равным 100 м или кратным для устойчивого сбора данных на открытых пространствах. В лесных массивах с высокой плотностью деревьев на единицу площади значение опорного расстояния рекомендуем принять за  $d_0 = 1 \text{ м}$  ( $d_0 = d_{on}$ ).

#### Литература

- Санников С. П., Лисиенко В. Г., Герц Э. Ф., Шлеймович Е. М., Шипилов В. В., Сулова С. С., Сулов Д. Г. Возможность экологического мониторинга лесов // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Серия: Инженерная экология. Вып. 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. 75–83.
- Санников С. П., Герц Э. Ф. Круглогодичный мониторинг углерода в лесных массивах и управление лесами // Леса России в XXI веке: материалы первой международной научно-практической интернет-конференции. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 92–96.
- Ковальчук Н. И. Расчет и проектирование пассивных элементов колебательных систем: реферат. М.: БГУИиР, 2008. 10 с.