

УДК 621.391.1

М. А. Бояршинов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

В. В. Хворенков, доктор технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

М. Ю. Васильев, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

П. В. Караваяв, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ПОСТРОЕНИЕ МОДУЛЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК *

При разработке устройств и систем самого различного назначения возникает задача беспроводной передачи данных на расстоянии от десятков метров до нескольких километров. Как правило, для таких задач используются ISM-частоты УВЧ-диапазона, не требующие регистрации устройств, при ограниченной мощности передатчика.

Модули радиоканала, обеспечивающие бесшнуровой доступ ПДУ (пульт дистанционного управления) и радиогарнитур к основной радиостанции, в настоящее время используются и в системах специального назначения. Целью применения ПДУ является возможность избежать обнаружения, а в специальных системах – уничтожения за счет удаленного расположения от радиостанции. Его применение связано с решением следующих задач:

- обеспечить мобильность терминала;
- обеспечить дистанционное управление радиостанцией;
- передача речевой и служебной информации.

В работе рассмотрены вопросы разработки радиомодуля, обеспечивающего удаленное управление радиостанцией в различных условиях. Условия применения требуют решений, обеспечивающих необходимую дальность и устойчивость связи при низком энергопотреблении, особенно при автономной работе.

Проведенное исследование является актуальным в области телекоммуникаций. Оно поможет определить оптимальный способ организации канала связи для управления радиостанцией.

Главными параметрами приемопередающего устройства являются диапазон рабочих частот, полоса пропускания, шаг частотной сетки. Для приемных модулей основными параметрами будут параметры, характеризующие любую приемную систему: чувствительность, виды поддерживаемых демодулируемых сигналов, избирательность, защита от внеполосных помех, а также массогабаритные параметры, диапазон допустимого напряжения питания и потребляемая мощность. Для передающих модулей базовыми параметрами являются типы модуляторов, выходная мощность, уровень внеполосных излучений. Для модулей приемопередатчиков основными параметрами будут все перечисленные для приемников и передатчиков вместе.

При разработке радиомодуля рассматривались два основных варианта построения высокочастотной части устройства. Можно использовать готовый радиомодуль либо разработать приемопередающее устройство, используя высокочастотную микросхему трансивера, кварцевый резонатор и необходимые дискретные элементы. В табл. 1 приведены преимущества и недостатки обоих способов построения высокочастотной части устройства [1].

Таблица 1. Преимущества и недостатки различных способов построения высокочастотной части устройства

Варианты решения	Преимущества	Недостатки
Готовый радиочастотный модуль	– минимальное время проектирования; – низкие затраты на оценку и тестирование; – гарантированное качество, проверенное временем и большим объемом выпуска; – упрощенная логистика компонентов	– характеристики могут не точно соответствовать требуемым; – единственный производитель; – невозможно вносить изменения; – более дорогое решение
ВЧ-часть на дискретных компонентах	– полный контроль над характеристиками; – возможность вносить изменения; – несколько производителей комплектующих; – экономия на стоимости комплектующих	– выше затраты на разработку; – требуется тестирование; – сложнее логистика комплектующих

Учитывая то, что самостоятельная разработка приемопередающего устройства позволяет построить беспроводную часть наилучшим образом с учетом всех требований, представленных выше, было решено выбрать данный вариант.

Для определения необходимой выходной мощности передатчика был произведен расчет для рабочих частот 433 МГц и 868 МГц. Использование данных частот обусловлено тем, что для подключения приемопередатчиков, работающих на данных частотах, требуется достаточно мало внешних элементов, стоимость которых к тому же невелика, а значит, снижается и стоимость конечного результата. С ростом рабочей частоты сложность проектирования и эксплуатационного обслуживания устройств растет.

Так как требуемая дальность радиосвязи небольшая, порядка 100 м, в основу расчета линии радиосвязи можно положить следующую формулу [2]:

$$P_1 + D_1 + D_2 = P_2 + 20 \lg 4\pi r - 20 \lg \lambda - F,$$

где P_1 – мощность передатчика, дБ, Вт; P_2 – чувствительность приемника, дБ, Вт; D_1 – коэффициент усиления передающей антенны, дБ; D_2 – коэффициент усиления приемной антенны, дБ; r – расстояние, м; λ – длина волны, м; F – множитель ослабления, дБ.

Учет потерь, вносимых влиянием земли на распространение радиоволн, при низко расположенных

антеннах, производился по следующему выражению:

$$F_1 = \frac{4\pi h_0^2}{\lambda r},$$

где h_0 – минимальная эффективная высота антенны, м; r – расстояние, м; λ – длина волны, м.

Результаты расчетов параметров радиолинии для выбранных диапазонов рабочих частот сведены в табл. 2.

Таким образом, согласно полученным расчетам стало известно, что проектируемому радиомодулю при работе на частоте 433 МГц для того чтобы организовать канал связи на 100 метров потребуется не менее 11 мВт. А при работе радиомодуля на частоте 868 МГц выходная мощность должна составлять не менее 94 мВт. Исходя из этого, было решено выбрать в качестве несущей частоты 433 МГц, так как при одинаковых условиях радиосвязи передатчику, работающему на этой частоте, потребуется меньшая выходная мощность.

Как результат проведенных выше работ разработана принципиальная электрическая схема радиомодуля, рабочая частота которого 433 МГц. По спроектированной принципиальной электрической схеме разработаны два макета портативного радиомодуля. Структурная схема модуля радиоканала представлена на рис. 1.

Таблица 2. Параметры проектируемых радиолиний

Рабочая частота, МГц	Длина волны, м	Требуемая мощность передатчика с учетом листвы, дБ, Вт (мВт)	Требуемая мощность передатчика, дБ, Вт (мВт)	Чувствительность приемника, дБ, Вт	Потери распространения, дБ	Интерференционное затухание, дБ	Потери, вносимые листвой, дБ ($\gamma_0 \cdot 150$ м)
433	0,69	-9,6 (11)	-8,1 (0,16)	-150	71,7	(-39,9	(-18,5
868	0,35	-0,2 (94)	-6,3 (0,25)	-150	75,9	(-42,3	(-26,1

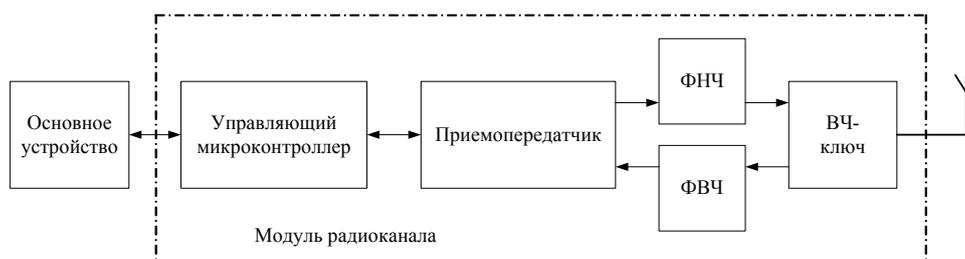


Рис. 1. Структурная схема модуля радиоканала

Проведены испытания разработанных макетов. Целью испытаний является оценка дальности передачи данных между портативными радиомодулями, а также оценка вероятности ошибки передаваемых данных.

Первый этап испытания на открытой местности показал, что радиомодуль обеспечивает качественную связь на расстоянии 50 м. При дальности связи от 75 м возрастает вероятность ошибки до значения 15 %. Несущая частота – 435 МГц. На высоте 165 см для расстояния 100 м вероятность ошибки передаваемых данных составляет 3 %. Замечено, что при непрерывной отправке нескольких десятков пакетов с увеличе-

нием числа отправленных пакетов вероятность ошибки уменьшается. Вероятно, это связано со спецификой работы блока автоматической корректировки несущей частоты на приемном устройстве. Испытания проводились без применения помехоустойчивого кодирования и адаптивного изменения мощности.

Испытания проводились на стадионе длиной 120 м. Изначально радиомодули расположены на расстоянии 5 м. Данные отправлялись пакетами по 256 байт. Для вычисления ошибки данные отправлялись 10 пакетами в обе стороны. После чего расстояние увеличивалось с шагом, как показано на схеме проведения испытаний (рис. 2).

Второй этап испытания проводился с применением помехоустойчивого кодирования и адаптивного

изменения выходной мощности передатчика радиомодуля при той же схеме испытаний.

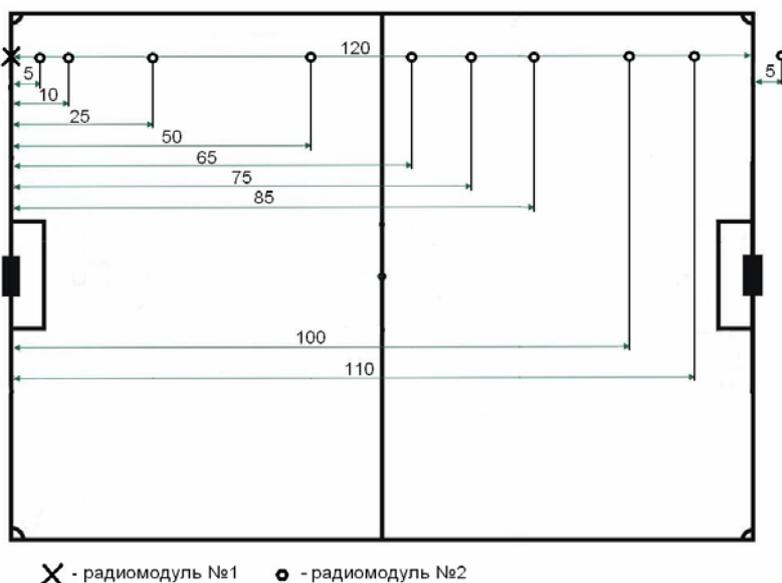


Рис. 2. Схема проведения испытания № 1

Испытания дальности передачи данных показали, что из-за высокой зашумленности частоты 435 МГц зона неуверенного приема наступает раньше, чем при частоте 448 МГц. При этом из-за небольшой разницы частот увеличение затухания сигнала на частоте 448 МГц по сравнению с 435 МГц является незначительным. На рис. 3 представлен график зависимости расстояния от требуемой выходной мощности сигнала.

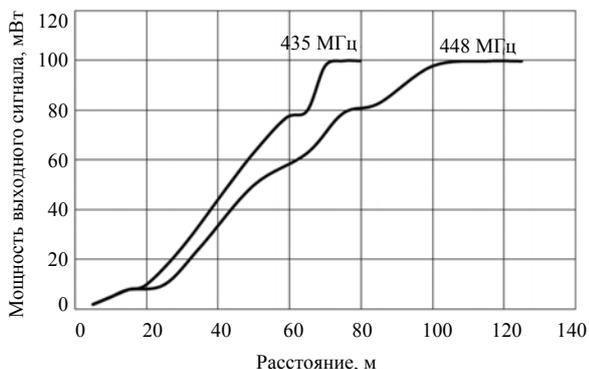


Рис. 3. Оценка дальности передачи данных

Стоит отметить, что оценка производилась с учетом зоны неуверенного приема, поэтому была проведена оценка вероятности ошибки передаваемого символа. Полученные результаты показаны на рис. 4. На рисунке видно, что на расстоянии больше 75 м появляются ошибки. Однако на расстоянии до 100 м, процент ошибок передаваемых данных не превышает значение 0,5 %.

Третий этап испытания проводился с целью исследовать отражение сигнала. Испытание проводилось в помещении, в месте пересечения коридоров. Схема проведения испытания представлена на рис. 5.

Данные отправлялись пакетами длиной 256 байт. В каждую сторону отправлялось по 10 пакетов, после чего рассчитывался процент ошибок.

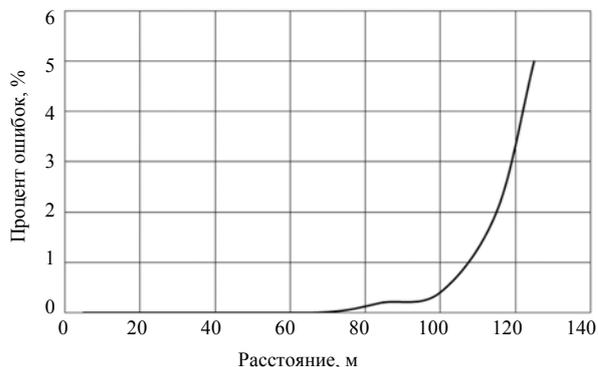


Рис. 4. Процент ошибок передаваемых символов

При сравнении значений, полученных в обоих направлениях, замечено, что при отправке данных из точек *a3* и *b5* увеличивался процент ошибок передаваемых символов. Вероятно, это связано с особенностью отражения сигнала при приеме и передаче данных в указанных точках. В дальнейшем при увеличении расстояния процент ошибок уменьшался. После отправки из точек *a4* и *b6* процент ошибок снова увеличивался. Однако при равных условиях, если организовать канал связи в точках *a5* и *b7*, вероятность правильной передачи данных из точки *a5* намного выше, чем при отправке из точки *b7*.

Обратная ситуация наблюдается на общем расстоянии 20–25 м, где при отправке данных из коридора *B* вероятность правильной передачи данных выше, чем при отправке из коридора *A*. Полученные результаты представлены на рис. 6.

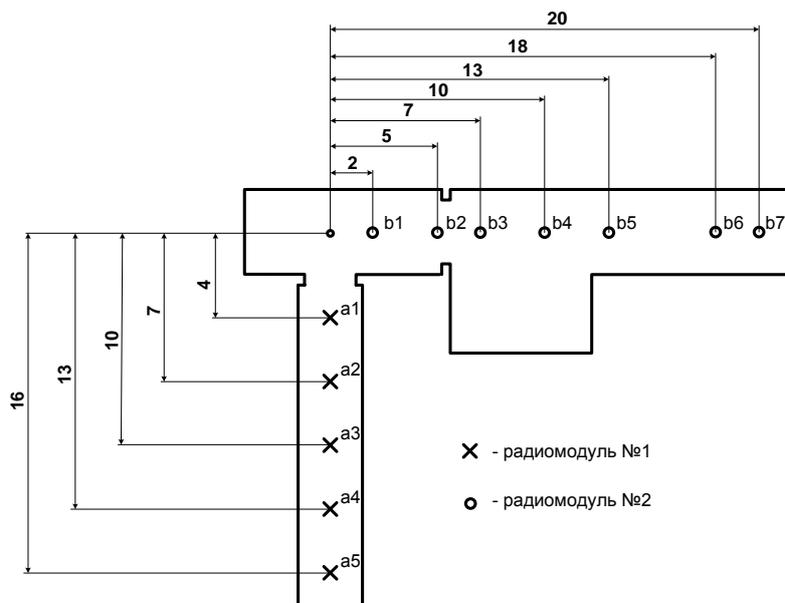


Рис. 5. Схема проведения испытания № 2

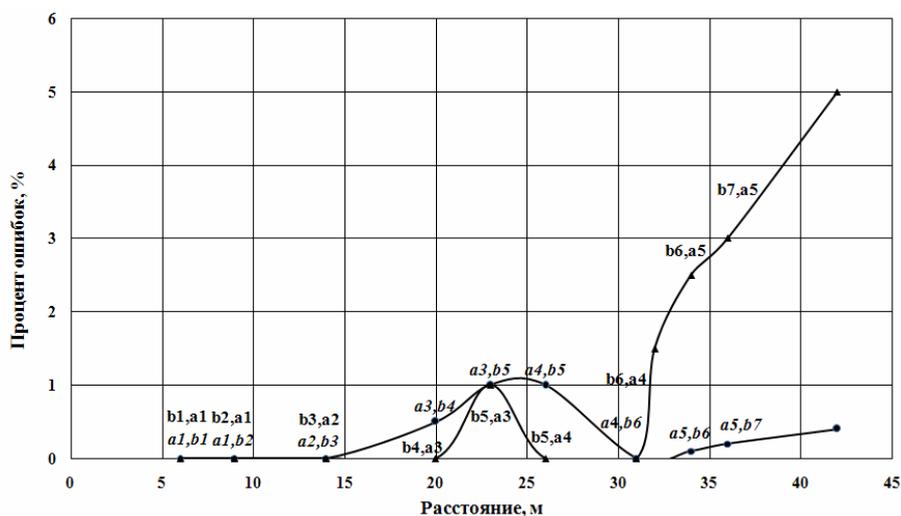


Рис. 6. Процент ошибок отраженных символов

Таким образом, разработанный радиомодуль на расстоянии 100 м может обеспечить вероятность ошибки передаваемых данных ниже 0,5 %, а при условиях отражения сигнала – на общем расстоянии не менее 32 м.

Библиографические ссылки

1. Пушкарёв О. В. Беспроводная передача данных в безлицензионном диапазоне 433 МГц. – URL: <http://www.compel.ru/lib/ne/2006/1/9-besprovodnaya-peredacha-dannyih-v-bez litsenzionnom-diapazone-433-mgts/> (дата обращения: 03.03.2014).
2. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. – М. : Связь, 1972.

Получено 21.11.2014