

Программно-аппаратный комплекс для обнаружения метеорных следов

И.В. Рябов, С.В. Толмачев, А.А. Лебедева

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, Российская Федерация, 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3.

В статье рассмотрены основные физические принципы метеорной радиосвязи. Авторами предложена структурная схема аппаратно-программного комплекса для обнаружения метеорных следов. В основу комплекса заложены принципы программно-определяемой радиосистемы. В работе приводятся функциональная и структурная схема платы захвата сигнала, а так же описание программного обеспечения с примерами принимаемых данных. Данный комплекс позволяет устранить ряд недостатков метеорной радиосвязи, а так же повысить ее дальность и защищенность.

The article describes the basic physical principles of meteor radio. The authors proposed a block diagram of hardware and software for the detection of meteor trails. the principles of software-defined radio system lies at the heart of the complex. The paper presents a functional block diagram of the board and the signal capture, as well as software description with examples of the received data. This complex allows to eliminate a number of shortcomings meteor radio, as well as increase its range and security.

Физические основы явления, с помощью которого могут быть построены метеорные системы связи, заключаются в следующем. Земля постоянно подвергается бомбардировке частицами межпланетного материала из космического пространства. За день Земля около 44 тонн метеорного вещества. При входе в земную атмосферу, вдоль трассы распадающейся частицы возникают быстро исчезающие, ионизированные следы. Длина следа может достигать 15 км при ширине около 20 метров, существует такой поток от 200 мс до 1 с. Эти следы имеют отличную от нормальной линейную плотность электронов и достаточно эффективно отражают радиосигналы в диапазоне частот от 40-100 МГц. Благодаря этому, радиосигнал, посланный радиопередатчиком в атмосферу, отражается от метеорного канала и транслируется на Землю.

Поскольку развитие метеорных следов носит спорадический характер, системы метеорной радиосвязи дают возможность в УКВ диапазоне на больших расстояниях с малыми мощностями и простыми антеннами, обеспечить скрытность и помехозащищенность, малую подверженность естественным и искусственным ионосферным возмущениям и, соответственно, надежность связи.

Радиофизические основы организации метеорной связи заключаются в следующем. Метеорный след представляет собой естественный пассивный ретранслятор. Чтобы получить направленное зеркальное отражение, метеорный след должен проходить по касательной к одному из семейства эллипсоидов вращения, имеющих фокусами пункт передачи и пункт приема. Метеорные следы, удовлетворяющие условию зеркальности отражения, являются потенциально полезными для организации связи. Наличие геометрических и энергетических ограничений приводит к тому, что далеко не все метеорные следы, возникающие в метеорной зоне (85 – 120 км) ионосферы, могут использоваться для связи, и отраженные радиоволны в метеорном канале принимаются только из весьма ограниченных областей метеорной зоны.

Оптимальные частоты располагаются в диапазоне 35-60 МГц. Хотя это не жесткие границы, но частоты вне этого диапазона имеют ограниченное применение. Нижняя граница установлена с целью снизить влияние атмосферных и космических шумов, физические размеры антенн и ослабление сигнала из-за так называемого D-слоя ионосферы. На частотах выше 60 МГц фазовая дисперсия от многолучевого

распространения ограничивает полезную длительность метеорного следа.

Системы метеорной связи высоко эффективны при использовании их в радиодиапазоне. Радиочастот недостаточно, и увеличивающаяся потребность в информации требует экономного использования радиодиапазона. Так как на огромных территориях обслуживания разные пользователи «обслуживаются» разными метеорами, взаимные помехи между пользователями фактически исключаются, даже если одна и та же частота используется на очень большой территории. Таким образом, вся Европа может обслуживаться одним или двумя каналами, в зависимости от конфигурации коммуникационной сети.

Если система связи сформирована в виде звезды с центральной базовой станцией и некоторым количеством удаленных станций, баланс связи нарушается ограниченной мощностью терминалов удаленных станций. Если используется мобильный терминал, то применение всенаправленной (omni-directional) антенны также повлияет на баланс связи. Для восстановления баланса в канале связи мощность передатчика и коэффициент усиления приемной антенны базовой станции должны быть увеличены. Чтобы получить приемлемый энергетический потенциал линии связи мощность терминала должна быть около 100 Вт.

Большие системы могут быть построены при использовании многих базовых станций, соединенных напрямую. В зависимости от планировки сети возможно, что базовая станция А расположена в зоне обслуживания базовой станции В и наоборот. При использовании одного частотного канала для всей сети связи весьма вероятно, что базовые станции будут мешать связи с удаленными станциями. Благодаря большой мощности передатчика и большому коэффициенту усиления приемной антенны, связь между двумя базовыми станциями будет обладать существенно меньшим временем ожидания, которое увеличивает уровень интерференции. Определяя одну частоту для передающего канала и одну частоту для приемного канала базовой станции интерференция между двумя базовыми станциями может быть исключена и канал метеорной связи может использоваться более рационально. Два канала будут использоваться удаленными станциями в обратном порядке.

Для минимизации интерференции соседних каналов обычно используется GMSK-модуляция (Gaussian Minimum Shift Keying modulation- Гауссова модуляция с минимальным сдвигом). Эффективная ширина полосы устанавливается в 16 КГц. Разнос каналов составляет 25 КГц, и система соответствует ограничениям на побочное радиоизлучение, установленным стандартом ETS 300-113 и рекомендацией ERC № 74-01.

Сети метеорной связи обычно используют либо полный дуплекс, либо полудуплекс в зависимости от применения и требуемого уровня производительности. Двоичная фазовая манипуляция (BPSK) и GMSK-модуляция используются на скоростях передачи данных до 19200 бод. Полнодуплексные системы требуют два частотных канала, каждый шириной по 25 КГц, разделенных минимум 1 МГц. Полудуплексные сети используют либо одну, либо две частоты. В основном, полудуплексные сети используют одну частоту и для сохранения спектра, и для увеличения гибкости сети. Протоколы связи были разработаны для обеспечения 90% коэффициента загрузки канала.

Зона обслуживания метеорного следа (ЗОМС) может быть определена как наземная область, в которой в определенное время и с определенным расположением передатчика, мощность полученного сигнала превосходит некоторый порог. Такая зона может быть более точно названа мгновенной зоной обслуживания, поскольку ее размер и местоположение меняется на протяжении импульса. Как можно ожидать, ее размер увеличивается, а затем сокращается, и местоположение изменяется, как результат

смещения метеорного следа из-за ветров в верхних слоях атмосферы.

Размер ЗОМС является показателем степени безопасности связи. Небольшая ЗОМС обеспечивает низкую вероятность обнаружения. Важнейшим фактором, влияющим на размер ЗОМС, является расположение следа относительно передатчика и приемника. Метеорные следы (МС), проходящие близко к передатчику, образуют большие ЗОМС. Как следствие, ЗОМС для двух передач туда и обратно могут быть разного размера.

Структурная схема комплекса для обнаружения метеорных следов приведена на рисунке 1.

В основе комплекса лежит плата захвата сигнала (ПЗС), к которой подключена антенна.

Первичная обработка сигнала ведется в ПЗС, в дальнейшем данные через интерфейс PCI поступают в персональный компьютер (ПК) с установленным специализированным программным обеспечением.

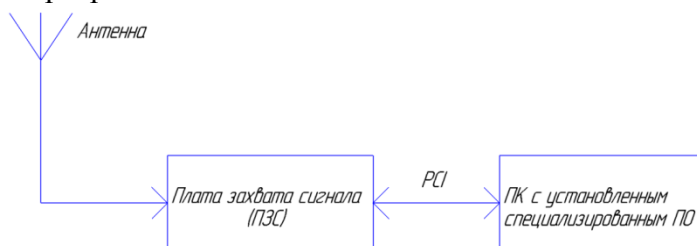


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса для обнаружения метеорных следов.

Функциональная схема ПЗС приведена на рисунке 2, структурная схема ПЗС приведена на рисунке 3.

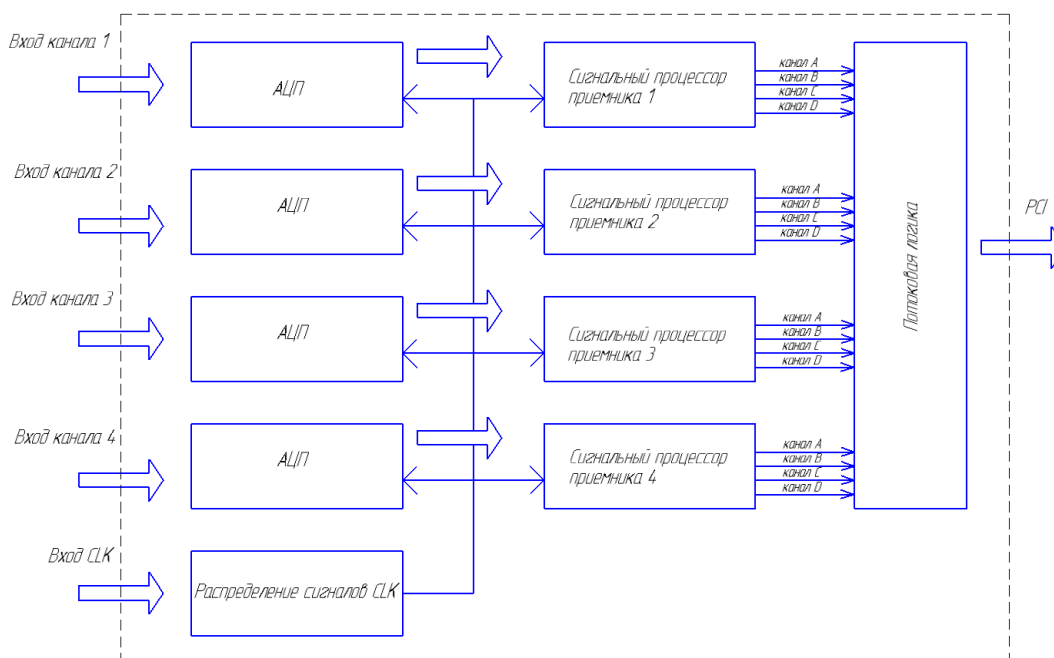


Рис. 2. Функциональная схема ПЗС.

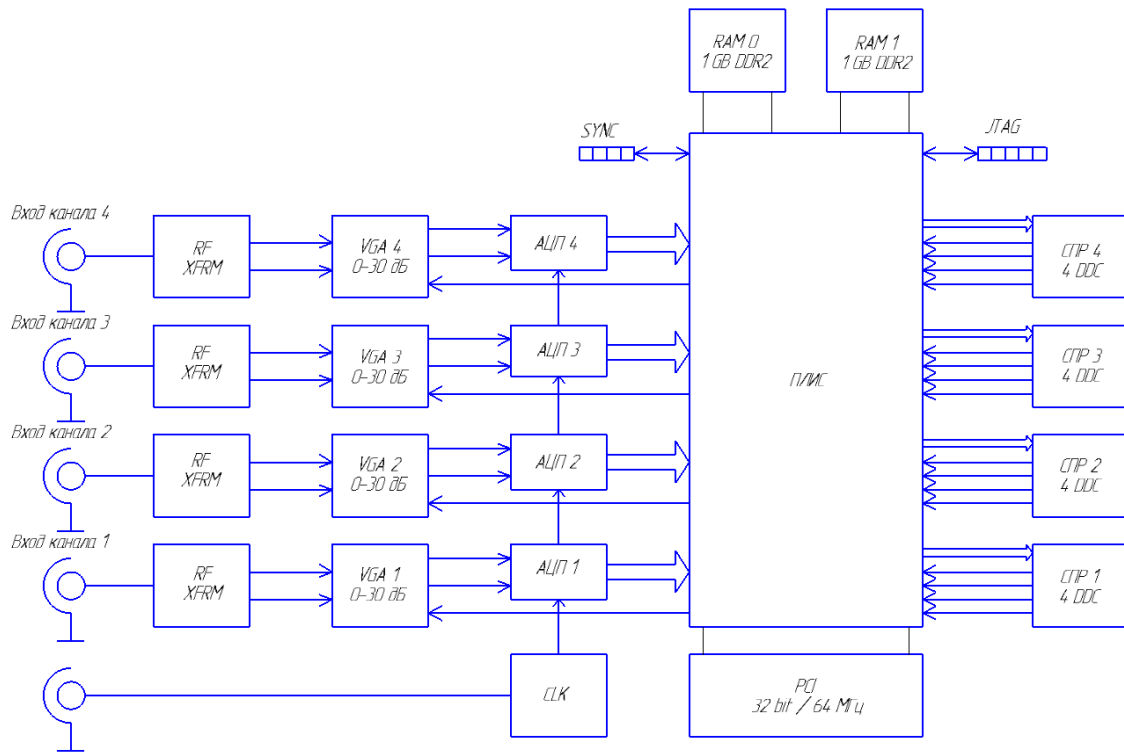


Рис. 3. Структурная схема ПЗС.

В основе программного обеспечения лежит доработанная бесплатная программа Spectrum Lab со специальным скриптом и модернизированная программа SRM-3000 application.

Рабочее окно программы Spectrum Lab представлено на рисунке 4, рабочее окно программы SRM-3000 application представлено на рисунке 5, примеры принимаемых данных представлены на рисунке 6.

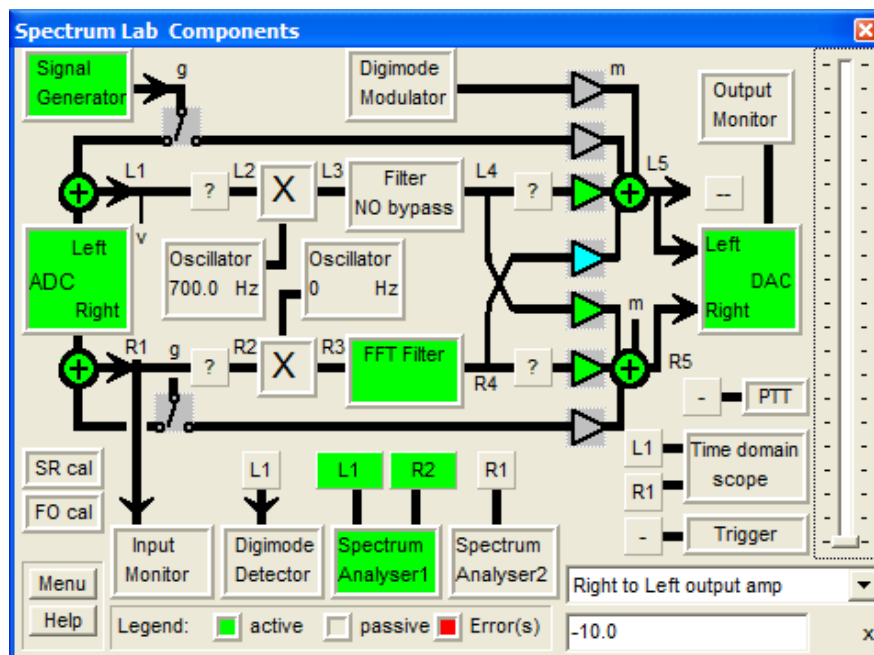


Рис. 4. Рабочее окно программы Spectrum Lab.



Рис. 5. Рабочее окно программы SRM-3000 application.

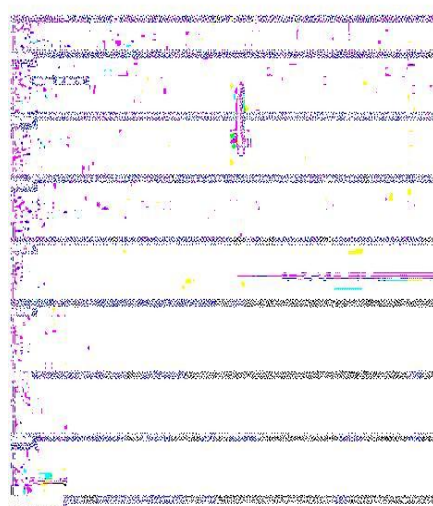
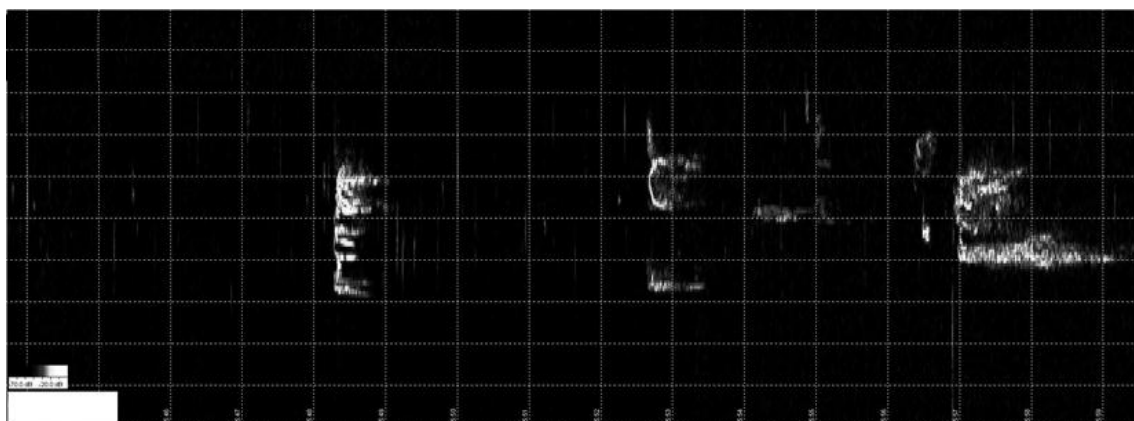


Рис. 6. Пример принимаемых данных.

Литература

1. Рябов И.В., Толмачев С.В. SDR-приемник для метеорной радиосвязи/ В сб. тр. 15 Международной науч.-технич. конференции «Цифровая обработка сигналов и ее

- применение», Москва: DSPA-2013. Рябов И.В., Толмачев С.В., Чернов Д.А. SDR приемник на FPGA для исследования радиолокационных отражений от полярных сияний/ В сб. тр. 16 Международной науч.-технич. конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение», Москва: DSPA-2014.
2. Рябов И.В., Толмачев С.В., Чернов Д.А. Программирование ПЛИС семейства ZYNQ фирмы Xilinx с использованием MatLab и Simulink для исследования метеорной радиосвязи / В сб. тр. 17 Международной науч.-технич. конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение», Москва: DSPA-2015.
3. Рябов И.В., Толмачев С.В. Применение программно-определяемого радио в рамках задачи исследования метеорной радиосвязи // в сб. тр. XXI науч.-технич. Конференции «Радиолокация, навигация, связь», г. Воронеж RLNC -2015
4. Метеорная радиосвязь на ультракоротких волнах. Сборник статей под ред. А. Н. Казанцева. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 287 с.
5. Метеорная радиосвязь на ультракоротких волнах. Сб. ст., под ред. А. Н. Казанцева, М., 1961; Бондарь Б. Г., Кашеев Б. Л., Метеорная связь, [К., 1968].
6. Метеорная связь : [Учеб. пособие для спец. "Радиотехника"] / Б. Л. Кашеев, Б. Г. Бондарь ; М-во высш. и сред. спец. образования УССР, Учеб.-метод. каб. по высш. образованию, Харьк. ин-т радиоэлектроники им. М. К. Янгеля, 73,[2] с. ил. 20 см, Киев УМКВО 1989