

# Дистанционное зондирование сред

УДК 621.398.97(031)

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ

**Рябов И.В., асп. Толмачев С.В., студ. Лебедева А.А.**

кандидат технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет «МЭИ».  
E-mail: belovla@gmail.com.

**Семенов Николай Сергеевич**

аспирант ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет «МЭИ».  
E-mail: semenov\_nick@mail.ru.

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14.

**Аннотация:** В статье рассмотрены основные физические принципы метеорной радиосвязи. Приведены особенности организации таких систем, их достоинства и недостатки. Рассмотрены известные пути решения задачи увеличения пропускной способности метеорного радиоканала. Авторами предложена структурная схема аппаратно-программного комплекса для обнаружения метеорных следов. В основу комплекса заложены принципы программно-определяемой радиосистемы. Используя эти принципы можно реализовать программное изменение полосы пропускания в приемной части радиокомплекса без изменения аппаратной с целью увеличения пропускной способности метеорного радиоканала. Структурно комплекс представляет собой плату захвата сигнала, подключенную к персональному компьютеру с установленным специализированным программным обеспечением. 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, повысить пропускную способность метеорного радиоканала.

**Ключевые слова:** метеор, метеорный радиоканал, метеорная связь, программно-определяемое радио, SDR, ПЛИС.

### 1. Физические основы метеорной радиосвязи

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 естествен-

ный 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.

При построении систем метеорной связи нужно учитывать следующие особенности:

Канал передачи метеорной связи характеризуется ограниченной доступностью по времени и непредсказуемостью обнаружения, поэтому невозможно предсказать, когда произойдет вхождение метеора в атмосферу. Как следствие, происходит задержка до того, как собственно связь будет установлена. Это естественно не означает, что система ненадежна. Основываясь на статистике можно утверждать, что канал надежен.

Важным предварительным условием для технологии метеорной связи является выбор частот. Только в нижней части диапазона ОВЧ можно найти правильное сочетание чувствительности приемника и отражающей способности метеорного следа для создания жизнеспособной системы.

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.

## 2. Метеорный канал связи и его пропускная способность

Одной из существенных характеристик, с помощью которой возможно сравнивать между собой различные каналы связи, является его пропускная способность. Максимальный объем информации, который способен пропустить канал в единицу времени без искажений, называется предельной пропускной способностью.

Другими словами, пропускная способность является характеристикой допустимой скорости передачи сообщений, при которой количество ошибок не выше установленной нормы, например, пропускная способность телеграфа оценивается/измеряется числом стандартных слов в единицу времени (минуту).

Что касается средней пропускной способности метеорного канала связи, эта величина  $J$  пропорциональна полосе пропускаемых им частот  $F$  и относительной продолжительности связи, определяемой коэффициентом использования канала  $\eta_t$  по времени (1):

$$J \sim F \eta_t, \quad (1)$$

$$\eta_t = \frac{T_{пд}}{T}, \quad (2)$$

где  $T_{пд}$  – время передачи,  $T$  – общее время действия канала

Общее время передачи  $T_{пд}$  равно числу метеорных вспышек  $Z$ , умноженному на среднюю длительность вспышки  $\tau_{ср}$ :

$$T_{пд} = Z \tau_{ср}. \quad (3)$$

Если учесть, что  $\eta_t$  пропорциональна  $T_{пд}$ , то

$$\eta_t \sim Z \tau_{ср} \quad (4).$$

Таким образом, временной коэффициент использования канала  $\eta_t$  испытывает такие же суточные изменения, как и число метеорных вспышек  $Z$ , для продолжительных периодов

работы радиолинии величина  $\tau_{\text{ср}}$  принимается за постоянную.

Момент исчезновения сигнала будет зафиксирован тем позже, чем меньше пороговый уровень или установленное на приёмной стороне отношение сигнала к помехе. То есть чем меньше пороговый уровень приёма, тем выше время использования отдельных сигналов-вспышек, а значит значения  $\eta_t$  и  $\tau_{\text{ср}}$  растут. В данном случае это свидетельствует об увеличении чувствительности приёмной аппаратуры.

С помощью формулы (4) также возможно получить и другое выражение, необходимое для понимания сущности пропускной способности.

Количество принимаемых сигналов-вспышек находится в пропорциональной зависимости от общей поверхности отражения  $S$ , «освещенной» главными лепестками диаграмм направленности антенн для приема и передачи. При этом количество сигналов  $Z$ , отразившихся от метеорных следов с плотностью больше  $N$  эл/м, обратно пропорционально величине  $N^k$ , где  $k$  находится в пределах 1–2.

Таким образом,

$$Z \sim \frac{S}{N^k}. \quad (5)$$

Если брать во внимание формулу (3), согласно которой средняя длительность сигналов, отраженных от неплотных следов, пропорциональна  $\lambda^2$ , выводится следующее выражение:

$$\eta_t \sim \frac{\lambda^2 S}{N^k}. \quad (6)$$

Согласно выражению (6), относительная продолжительность связи и следовательно, пропускная способность канала находятся в существенной зависимости от длины волны  $\lambda$ , сильно снижаясь с уменьшением длины волны.

Из формулы (1) минимальная мощность принимаемого сигнала будет равна:

$$P_{\text{пр.мин}} = \alpha P_{\text{пд}} G^2 \lambda^2 N_0^2, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности;  $N_0$  – электронная плотность метеорного следа, дающий отраженный сигнал с уровнем, равным пороговому. При этом пороговый уровень

принимаемого сигнала пропорционален уровню шумов приемника, который пропорционален величине ( $m = 2,3$ ).

$$P_{\text{пр.мин}} \sim F \lambda^m \quad (8) \text{ или} \\ P_{\text{пд}} G^2 \lambda^3 N_0^2 \sim F \lambda^m \quad (9), \text{ из этого:} \\ F \sim P_{\text{пд}} G^2 \lambda^{3-m} N_0^2. \quad (10)$$

Формула (10) объединяет ширину полосы частот, пропускаемых метеорным каналом, с его главными характеристиками.

Можно сделать вывод, что при постоянных значениях  $P_{\text{пд}}$ ,  $G$  и  $\lambda$  ширина полосы частот изменяется  $N_0^2$ . Для расширения полосы частот  $F$ , пропускаемых метеорным каналом, необходимо увеличивать значение  $N_0$ , то есть стремиться к выбору максимального (насколько это возможно) порогового уровня, что соответствует использованию более интенсивных отражений. Таким образом, при повышении  $N_0$  имеет место регистрация отражений от более плотных следов, аппаратура работает на относительно сильных сигналах. Согласно выражению (10), ширина полосы частот  $F$  изменяется пропорционально интенсивности отражения.

Форсис предложил создать метеорную систему связи с непрерывно изменяющейся шириной полосы частот  $F$ , зависимой от интенсивности отражения. В подобной системе для наилучшего применения сигналов-вспышек ширина полосы частот и скорость передачи должна изменяться пропорционально мощности принимаемого сигнала. В отличие от системы с постоянной шириной полосы частот, такая система обладает более высокой пропускной способностью.

Благодаря дополнительной обратной связи между передающими и приёмными пунктами, возможно управлять скоростью передачи информации в зависимости от интенсивности принимаемого сигнала, при этом ширина полосы изменяется между значениями  $F_0$  и  $F_1$  с условием, что уровень принимаемого сигнала равен пороговому при каждом сигнале-вспышке.

При пусковом отношении сигнала к помехе, близком к пороговому, максимально эффек-

тивно используется время существования отдельных сигналов-вспышек, что приводит к увеличению времени использования канала для передачи сообщений и его пропускной способности. В результате этого возрастает среднее время использования канала для передачи сообщений и, следовательно, его пропускная способность.

Например, при максимальном значении полосы частот канала  $F$  уровень шумов приёмника также будет максимальным. Ввиду этого система будет эффективной лишь при относительно сильном сигнале, где отношение сигнала к помехе больше порогового значения.

В случае, если отражённый сигнал окажется слабым, то при неизменной полосе пропускания  $F$  отношение сигнала к помехе станет меньше порогового значения и при  $J = 0$  передача информации прекратится.

Если сигнал является слабым, и сделать так, чтобы отношение сигнала к помехе стало пороговым за счёт уменьшения полосы пропускания, то и этот слабый отраженный сигнал (соответствующий слабому следу) будет применён для передачи дополнительного объёма информации.

Согласно расчётам, если ширина полосы частот находится в пределах 1:10, средняя пропускная способность увеличивается в 2,3 раза, в пределах 1:100 – 3 раза, но сейчас из-за сложности системы с переменной полосой пропускания применяют системы с постоянной шириной полосы пропускаемых частот, отдавая предпочтение максимально большой.

### 3. Влияние основных характеристик радиолинии на пропускную способность канала связи

Используя формулы (6) и (10) в главной формуле пропускной способности (1), можно получить выражение, содержащее основные характеристики метеорной радиолинии:

$$J \sim P_{\text{пд}} G^2 \lambda^{5-m} S N_0^{2-k}. \quad (11)$$

С возрастанием коэффициента усиления антенн пропорционально снижается освещаемая

ими область отражения  $S$ , то есть  $G$ , если учесть, что  $m \approx 2,3$  и  $k \approx 1$  (для слабых метеоров), то формула (11) будет выглядеть следующим образом:

$$J \sim P_{\text{пд}} G^2 N_0 \lambda^{2,7} \left[ \frac{\text{СЛОВ}}{\text{МИН}} \right]. \quad (12)$$

По этому выражению можно проследить значимость средней пропускной способности от основных характеристик системы метеорной связи:

1) Влияние мощности передатчика  $P_{\text{пд}}$ . Подобно стандартным системам связи, величина  $J$  увеличивается прямо пропорционально мощности передатчика. Отсюда следует, что для увеличения пропускной способности необходимо увеличить мощность передатчика. Такой способ является простым и наименее затратным.

2) Влияние  $G$ . При постоянном пороговом уровне приёма ( $P_{\text{пд}} G^2 \lambda^3 = \text{const}$ ), то при неизменном значении  $P_{\text{пд}}$  и  $\lambda$  увеличение сопровождается пропорциональным уменьшением  $N_0$ . Следовательно, с возрастанием коэффициента усиления антенн аппаратура регистрирует сигналы, отраженные от более слабых метеорных следов, таким образом, повышается чувствительность аппаратуры. В данном случае  $N_0 \sim \frac{1}{G}$ , и выражение (12), упрощаясь, приобретает другой вид:

$$J \sim P_{\text{пд}} \lambda^{2,7}. \quad (13)$$

Формула (13) показывает отсутствие корреляции между пропускной способностью и направленностью антенн. Однако на практике она медленно возрастает пропорционально величине  $\&\sim x$  ( $1 < k < 2$ ). Именно поэтому повышение направленности антенн не способствует значительному увеличению пропускной способности, и на метеорных линиях применяются простые пяти и даже трехэлементные антенны типа «волновой канал».

Более эффективным является выбор ориентации и коэффициентов усиления антенн, при котором облучаются наиболее активные области метеорной ионизации, лежащие по обе стороны трассы связи.

С учётом того, что относительная активность данных областей изменяется в течение суток, положительные результаты даёт метод разнесённого приема с помощью двух приемников, работающих от двух отдельных антенн. Каждая антенна «освещает» одну из двух половин области отражения, облучаемой передающей антенной.

Использование этого метода даёт выигрыш около 40% по сравнению с использованием одного приёмника и одной антенны с диаграммой направленности, охватывающей ту же область, которую облучает передающая антенна.

3) Влияние длины волны  $\lambda$ . Из выражения (8) очевидно, что средняя пропускная способность пропорциональна  $\lambda^{2.7}$ .  $N_0$  при этом является постоянной величиной (для разных длин волн используются метеорные следы одинаковой интенсивности). Величина  $G$  также является постоянной, то есть антенны имеют неизменную направленность. В этом случае укорочение волны вдвое (например с 8 м до 4 м) соответствует уменьшению пропускной способности канала в 6,5 раза, относительной продолжительности связи – в 4 раза и ширины полосы пропускаемых частот – в 1,6 раза. Чтобы при  $\lambda = 4$  м канал пропускал то же количество информации, что и при  $\lambda = 8$  м, нужно пиковую мощность передатчика повысить в 6,5 раза, величину снизить в 4 раза, полосу пропускаемых частот увеличить в 4 раза по сравнению со значениями этих величин на волне 8 м.

Влияние величины  $N_0$ . Согласно формуле (13) увеличение порогового уровня принимаемого сигнала  $P_{пр.мин.}$  пропускная способность канала возрастает пропорционально  $N_0$  (при  $k > 1$   $J \sim N_0^{2-k}$ ). В таком случае наблюдается уменьшение относительной продолжительности связи (согласно формуле (6)), но при этом канал начинает пропускать больший объём информации, потому что с возрастанием  $N_0$  резко увеличивается полоса частот  $F$ , пропус-

каемых каналом, согласно формуле (8). Выигрыш за счет увеличения полосы частот превосходит проигрыш за счет уменьшения относительной продолжительности связи  $\eta_t$ . Средняя пропускная способность является достаточной для связи благодаря данному свойству, несмотря на то, что процент использования времени канала является небольшим (5—10%).

#### 4. Аппаратно-программный комплекс для организации метеорной радиосвязи

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

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

Первичная обработка сигнала ведется в ПЗС, в дальнейшем данные через интерфейс



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

РСИ поступают в персональный компьютер (ПК) с установленным специализированным программным обеспечением.

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

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

Использование принципов программно-определяемой радиосистемы, позволяет реализовать изменение полосы частот принимаемого сигнала, в зависимости от его мощности, без аппаратного перестроения. Для сильных отраженных от метеорного следа сигналов полоса пропускания увеличивается, для слабых – сужается.

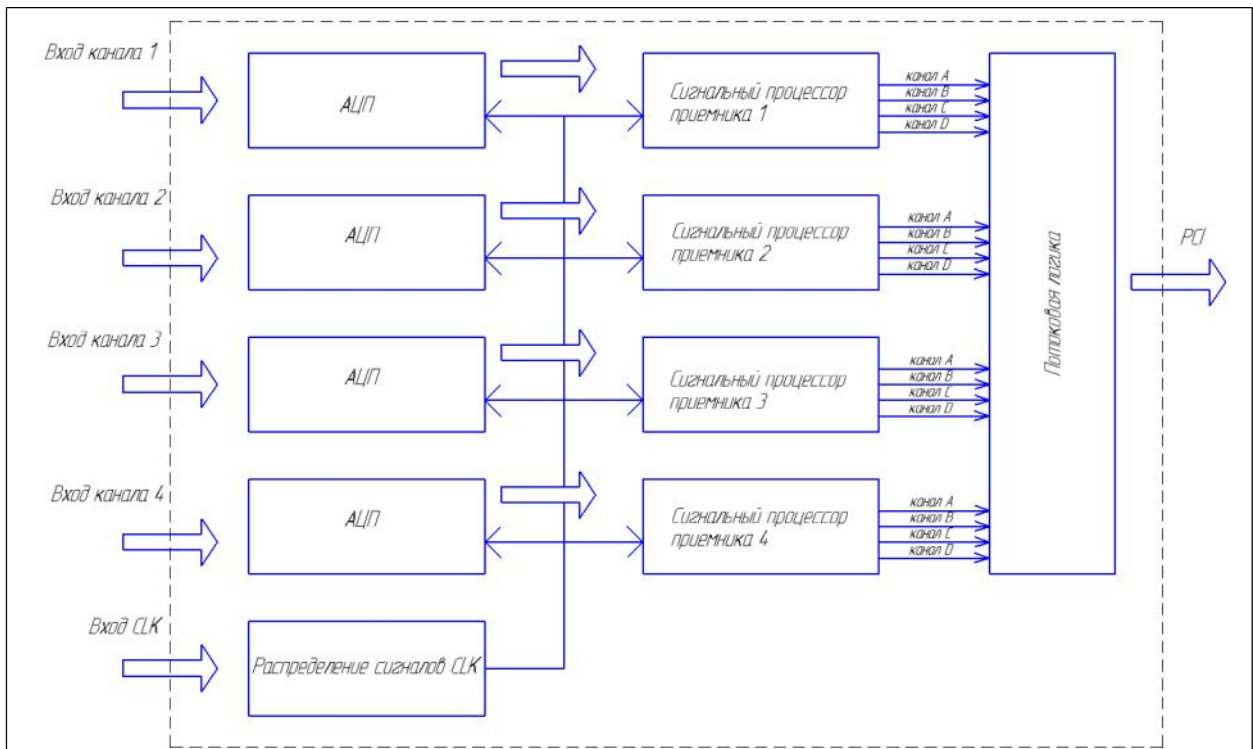


Рис. 2. Функциональная схема ПЗС

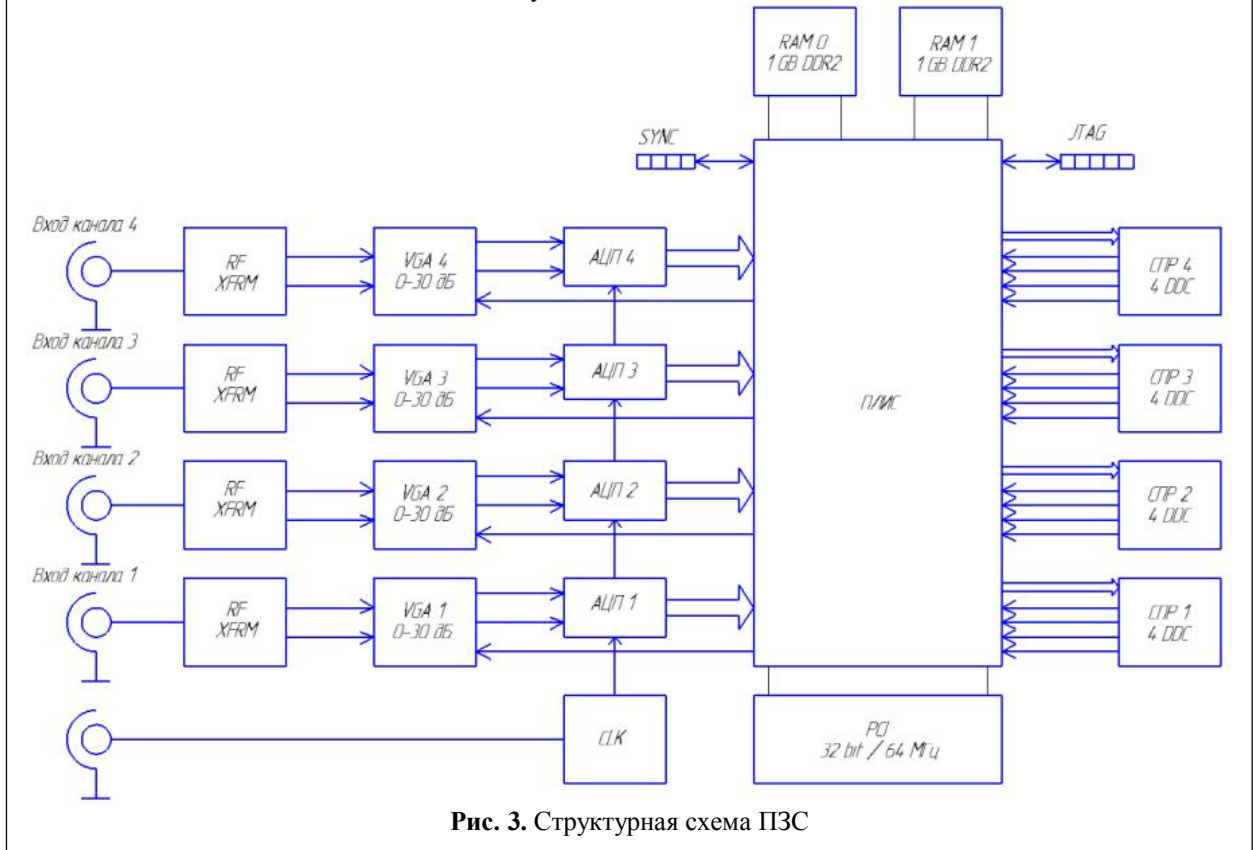


Рис. 3. Структурная схема ПЗС

Пример метеорных следов представлен на рис. 4.

**Заключение**

В статье рассмотрены основные физические принципы метеорной радиосвязи. Приведены

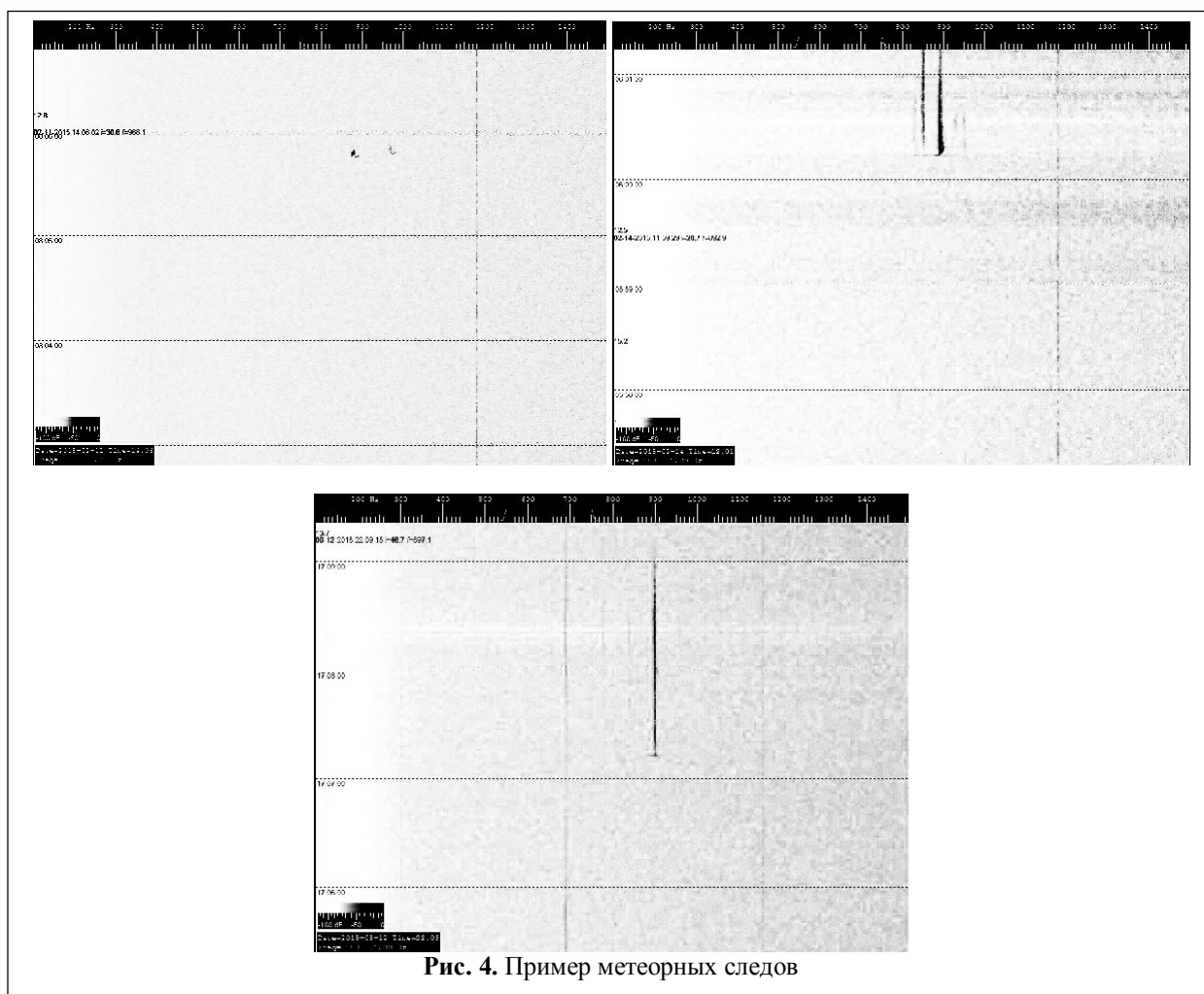


Рис. 4. Пример метеорных следов

особенности организации таких систем, их достоинства и недостатки. Рассмотрены известные пути решения задачи увеличения пропускной способности метеорного радиоканала. Авторами предложена структурная схема комплекса и платы захвата сигнала, основанные на принципах программно-определяемой радиосистемы, позволяющие увеличить пропускную способность метеорного радиоканала за счет изменения полосы пропускания.

#### 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 «Циф-

ровая обработка сигналов и ее применение», Москва: DSPA-2014.

2. Рябов И.В., Толмачев С.В., Лебедева А.А. Принципы программно-определяемой радиосистемы для создания аппаратно-программного комплекса для дистанционного обнаружения метеорных следов. // в сб. тр. XXII науч.-технич. Конференции «Радиолокация, навигация, связь», г. Воронеж RLNC -2016

3.Рябов И.В., Толмачев С.В., Лебедева А.А. Аппаратно-программный комплекс для обнаружения метеорных следов / В сб. тр. 18 Международной науч.-технич. конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение», Москва: DSPA-2016.

4. 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.

5. 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

6. Метеорная радиосвязь на ультракоротких волнах. Сборник статей под ред. А. Н. Казанцева. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 287 с.

7. Метеорная радиосвязь на ультракоротких волнах. Сб. ст., под ред. А. Н. Казанцева, М., 1961; Бондарь Б. Г., Кашеев Б. Л., Метеорная связь, [К., 1968].

8. 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

9. Виллард О.Дж., Эшлеман В.Р. и др. Роль метеоров в дальнем распространении УКВ // Ргос. ЩЕ, 1955, № 10.

10. Форсис П.А., Воган Е.Л. и др. Принципы метеорной системы связи «Джейнет» //Ргос. ИРЕ, 1957, № 12.

**Поступила 07 июля 2016 г.**

**English**

### **Hardware and software package for meteor trails detection having variable bandwidth**

**Leonid Alekseevich Belov – Candidate of Technical Sciences, Professor National Research University "MPEI".**

**E-mail: belovla@gmail.com.**

**Nikolay Sergeevich Semenov – Post-graduate student National Research University "MPEI".**

**E-mail: semenov\_nick@mail.ru.**

**Address: 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya Street, 14.**

*Abstract:* The article considers the basic physical principles of meteor radio communication. Features of such systems organization, their advantages and disadvantages are given. One of essential characteristics which enables to compare various communication channels among themselves is their bandwidth capacity. The known solutions of the problem for increasing bandwidth capacity of meteoric radio channel are considered. One of them was suggested by Forsyth and consists in creation meteor communication system with continuously changing bandwidth dependent on reflection intensity. The bandwidth and transfer speed has to change proportionally to the received signal strength in such a system for the best use of flashing signals. Unlike the system with constant bandwidth, such system has higher bandwidth capacity. The authors suggested the structural diagram of the hardware and software package for detection of meteor trails. The package is based on the software defined radio system principles. Using these principles it is possible to implement software changed bandwidth in radio system receiving part without changing hardware component for increasing meteor radio channel bandwidth. Structurally the package represents the signal capture circuit board connected to the personal computer with the installed specially configured software. The work describes the functional and structural diagram of the signal capture circuit board and also gives the description of the software with the received data examples. This package enables to eliminate a number of defects of meteor radio communication and to increase meteor radio channel bandwidth.

*Key words:* meteor, meteor radio channel, meteor communication, software defined radio, SDR, PLD.

### **References**

1. Ryabov I.V., Tolmachev S.V. SDR receiver for meteor radio communication. - Coll. Of works of 15 International scient. - techn. Conference "Digital Signal Processing and its Application", Moscow: DSPA-2013. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Chernov D. A. FPGA based SDR receiver for research of aurora polaris radar reflections / Coll. Of works 16 International scient. - techn. conference "Digital Signal Processing and Its Application", Moscow: DSPA-2014.

2. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. The principles of the software defined radio system for developing hardware and software package for meteor trail remote detection. - Coll. Of works XXII scient. - techn. conference "Radar detection, navigation, communication", Voronezh RLNC-2016.

3. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. Hardware and software package for meteor trails detection. - coll. Of works 18 International scient. - techn. conference "Digital Signal Processing and its Application", Moscow: DSPA-2016.

4. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Chernov D. A. Programming of ZYNQ series PLD by Xilinx Co. using MatLab and Simulink for meteor radio communication research. - coll. Of works 17 International scient. - techn. conference "Digital Signal Processing and its Application", Moscow: DSPA-2015.

5. Ryabov I.V., Tolmachev S. V. Application of the software defined radio within the research problem of meteor radio communication. - coll. Of works XXI scient. - techn. conference "Radar detection, navigation, communication", Voronezh RLNC-2015
6. Meteor radio communication via ultra-short waves. The collection of articles under the editorship of A. N. Kazantsev. M.: Publishing house иностр. litas., 1961. 287 pages(villages).
7. Meteor radio communication via ultra-short waves. Coll. Of art. Ed. by A. N. Kazantsev, M., 1961; Bondar B.G., Kashcheev B.L., Meteor communication, [K., 1968].
8. Meteor communication: [The textbook for the major "Radio engineering"] B. L. Kashcheev, B. G. Bondar; Ministry of higher and secondary education of UkrSSR, Kharkov Inst. Of Radio electronics named after M. K. Yangel, 73, 121 p. 1
9. O.J. Willard, V. R. Eshleman and other coll. The role of meteors in extended-range VHF propagation. - Rgos. ShchE, 1955, No. 10.
10. P. A Forsyth, E. L. Vogan and other coll., "The Principles of Janet — a Meteor-Burst Communication System". - Proc. IPE, 1957, No. 12.