

## МЕТЕОРНЫЙ ПРИЁМ СИГНАЛОВ УДАЛЁННЫХ ТЕЛЕЦЕНТРОВ В УСЛОВИЯХ МЕСТНЫХ ПОМЕХ

*АНТИПОВ И.Е., КОВАЛЬ Ю.А., САПРЫКИН А.В.*

Рассматривается задача борьбы с помехами от местных телепередатчиков в случае приёма в исследовательских целях сигналов удалённых телепередатчиков по метеорному каналу. Отмечается равенство несущих частот, сходство сигналов и неопределённость в направлении на их источники. Предлагается адаптивная антенная система, использующая как пространственные, так и поляризационные различия между сигналом и помехой.

### Введение

Экспериментальные наблюдения, проводившиеся авторами осенью 2004 года, выявили ряд факторов, без учёта которых полноценное функционирование радиотехнической системы в приёмном пункте оказывается затруднённым. Одним из таких факторов является помехи со стороны ретрансляторов, работающих на тех же частотных каналах, что и передатчик удалённого телецентра, приём которого осуществляется по метеорному радиоканалу. Анализ схемы размещения передатчиков 1 и 2 частотных каналов на территории Европейской части СНГ, представленной в [1], показывает, что трудно найти район, где в радиусе более чем 200 км не было бы ни одного передатчика, работающего на соответствующем канале (даже при том условии, что на схеме показаны только передатчики с мощностью более 1 кВт). Разумеется, для размещения приёмного пункта необходимо выбирать район, который находится вне зоны обслуживания такого передатчика, но даже это не избавляет от помех.

Таким образом, существует актуальная задача снижения уровня помех, создаваемых местными либо удалёнными телецентрами, сигналы которых достигают приёмного пункта неметеорным путём, не снижая при этом эффективность работы приёмного устройства для основного (метеорного) канала приёма.

*Целью* данного исследования является снижение помех, создаваемых местными телецентрами при приёме удалённых через метеорный радиоканала.

*Задача*, которая решается в статье заключается в том, чтобы:

- 1) установить характер помех;
- 2) проанализировать причины их возникновения;
- 3) обосновать метод их подавления;

4) рассмотреть способы технической реализации этого метода.

### 1. Причины возникновения помех

Как отмечается в работах [1-3], полуактивная радиолокация метеорных следов позволяет получать разнообразную информацию о метеорном радиоканале, состоянии атмосферы и т. д., при этом она не требует значительных затрат как на этапе создания аппаратуры, так и при проведении измерений.

Природа метровых волн такова, что существуют нерегулярные механизмы их распространения, которые в практических целях не используются, но могут создавать помехи. Так, экспериментальные наблюдения, проводившиеся на Балаклейском научном полигоне ХНУРЭ в ноябре 2004 г., показали, что на протяжении всего времени наблюдения (более 12 часов подряд) непрерывно принимался сигнал неизвестного (предположительно, Воронежского) телецентра, на фоне которого эпизодически возникали метеорные сигналы Останкинского телецентра из Москвы. Приём осуществлялся на трёхэлементную антенну «волновой канал», ориентированную на Москву. На рис. 1 представлена осциллограмма непрерывно принимавшегося сигнала, а на рис. 2 — «наложения» двух сигналов.



Рис. 1. Осциллограмма непрерывно принимавшегося сигнала

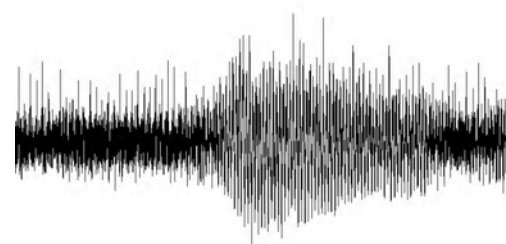


Рис. 2. «Наложение» двух сигналов

Как видно из рис. 1, 2, в данном случае помеха оставляет возможность оценить численность метеорных следов и коэффициент заполнения метеорного радиоканала. Но найти все те характеристики, о которых идёт речь в [2, 3], в условиях соизмеримой по уровню помехи не удастся.

Укажем, какие именно явления делают возможным сверхдальнее распространение метровых волн. Это, в первую очередь, положительная атмосферная рефракция, наблюдаемая при аномальном градиенте коэффициента преломления в атмосфере, из-за чего

может значительно увеличиваться эквивалентный радиус Земли и, соответственно, эквивалентный радиус прямой видимости. Положительная рефракция — наиболее часто встречающийся, наиболее устойчивый и наиболее «мощный» механизм нерегулярного распространения метровых волн, который позволяет им преодолевать расстояния до 200 км. Аномальным коэффициентом преломления объясняются также явление «тропосферного волновода», в котором волна, отражаясь несколько раз от тропосферного слоя и земной поверхности, может распространяться на расстояния до 400 км.

Вторым механизмом является отражение радиоволн от высоких (1...3 км) инверсных слоёв в тропосфере, а третьим — отражение метровых волн от спорадического ионизированного слоя ионосферы Es на высоте около 100 км.

Необходимо отметить, что 1 и 2 ТВ каналы, будучи самыми длинноволновыми, в наибольшей степени подвержены различным нерегулярным механизмам распространения.

Более подробно физика перечисленных явлений рассмотрена в [4]. В нашем случае исследовать и выяснять, откуда и каким именно образом помехи достигают пункта наблюдения, представляется не самой существенной задачей — всё равно повлиять на среду распространения невозможно. Значительно важнее рассмотреть способы борьбы с этими помехами, с тем, чтобы принимать и анализировать слабые метеорные сигналы от различных удалённых телецентров в любое время года и суток, располагая приёмные пункты в различных районах.

## 2. Рекомендуемые способы снижения помех

Следует указать, что в тех районах, где 1 или 2 каналы не используются для ТВ вещания, в диапазоне их частот могут работать другие радиозлектронные средства, которые также могут создавать помехи.

Поскольку несущие частоты сигнала и помехи совпадают, то ослабить её можно, используя различия:

- в направлениях на источник сигнала и источник помехи;
- в поляризации сигнала и помехи;
- во времени существования сигнала и помехи (помеха существует почти непрерывно, а метеорный сигнал кратковременно).

Задача приёма сигнала при наличии помех не является новой. В условиях, когда направления на источники сигнала и помехи различны, для борьбы с ней можно применять либо антенну с узкой диаграммой направленности (ДН), имеющей максимум в направлении источника сигнала, либо антенну с минимумом ДН в направлении на источник помехи. Но в условиях метеорного распространения радиоволн направление на источник сигнала меняется от следа к следу, поскольку метеоры возникают на различных участках небесной сферы. Это обстоятельство не позволяет

применять узконаправленные антенны — приём метеорных сигналов должен осуществляться в секторе, ширина которого зависит от длины трассы и может составлять  $DQ_c = 5 \dots 60$  градусов. Однозначно определить и зафиксировать направление на источник помехи в условиях, когда её сигнал достигает приёмного пункта вследствие различных атмосферных аномалий, также не всегда возможно. Очевидно, что данную задачу следует решать, применяя антенное устройство, которое могло бы приспособливаться к изменяющимся условиям приёма, или, иначе говоря, адаптивную антенную решётку (ААР). «Классическая» ААР представляет собой устройство, содержащее две или более одинаковых, одинаково ориентированных антенны, диаграммообразующую схему и адаптивный процессор [5].

В ААР, как правило, используются ненаправленные или слабонаправленные антенны, что позволяет формировать максимумы и минимумы ДН в любом направлении. С учётом особенностей метеорного распространения радиоволн для данной задачи авторы предлагают устройство, структурная схема которого представлена на рис. 3. В её состав входят антенны 1, 2 (если необходимо, то и 2'), находящиеся на расстоянии L одна от другой, усилитель с комплексным коэффициентом передачи W, сумматор и адаптивный процессор.

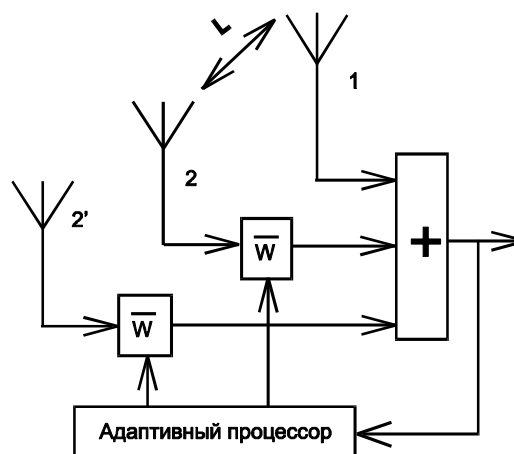


Рис. 3. Структурная схема ААР

Антенна 1 предназначена для приёма метеорного сигнала. Она представляет собой «волновой канал», высота установки и количество вибраторов в котором зависят от дальности до принимаемого телецентра, на который и ориентируется максимум её ДН (рис 4). При этом основным или одним из боковых лепестков этой ДН могут приниматься помехи, создаваемые местными источниками.

На некотором расстоянии L от первой антенны находится вторая, которая также представляет собой «волновой канал», максимум ДН которой в азимутальной плоскости ориентируется на предполагаемый источник помехи, а ширина главного лепестка определяется возможным диапазоном углов прихода помехи. Что же касается ДН в угломестной плоскости, то её следует формировать такой же, как и у антенны 1.

Дело в том, что изменение ДН «волнового канала» в угломестной плоскости достигается путем изменения высоты установки антенны. Но, кроме ДН в угломестной плоскости, высота установки антенны может значительно изменять условия приёма тропосферного сигнала, а в данном случае это нежелательно.

Расстояние между элементами  $L$  следует выбирать таким образом, чтобы свести к минимуму взаимное влияние антенн. Однако очень большой разнос также нежелателен, потому что в этом случае условия приёма тропосферной волны разными антеннами могут быть разными. Наиболее целесообразно выбирать расстояние  $L$  равным нескольким длинам волн.

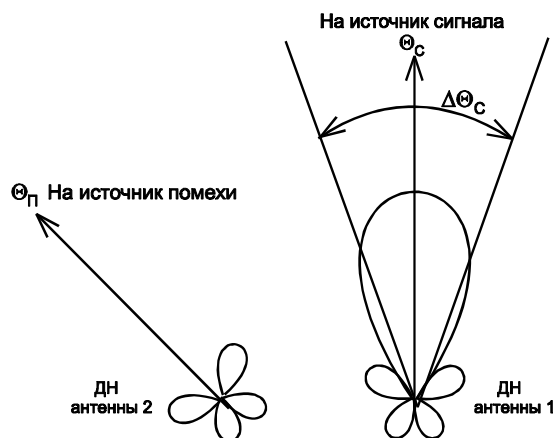


Рис. 4. Ориентация ДН антенн

Если в месте приёма имеется два различных источника помех, то в соответствии с теорией, ААР необходимо дополнить ещё одним каналом приёма, показанным на рис.3 штриховой линией.

Сигнал от антенны 2 усиливается в усилителе с комплексным коэффициентом передачи  $W$ , после чего поступает на сумматор, где складывается с сигналом, принятым антенной 1. Существует ряд критериев, по которым осуществляется поиск оптимального значения  $W$ : критерий минимума среднего квадрата ошибки (разности между принятой смесью и опорным сигналом), минимума помехи, максимума сигнала, максимума отношения сигнал-помеха, максимума правдоподобия. В условиях, когда полезный сигнал большую часть времени приёма отсутствует, следует применять критерий минимума помехи. Поэтому значение коэффициента  $W$  устанавливается таким, чтобы напряжение помехи на выходе сумматора было минимальным. При этом результирующая ДН системы приобретает «острый» минимум в направлении на источник помехи и сравнительно широкий лепесток в направлении на источник полезного сигнала.

Существует два основных метода расчёта оптимального значения  $W$ : градиентный и метод непосредственного обращения корреляционной матрицы (НОМ) [5, 6]. В рассматриваемой задаче сформировать матрицу взаимной корреляции принимаемого и опорного сигналов оказывается невозможным по причине отсутствия последнего в пункте приёма. Поэтому невоз-

можно и применение метода НОМ. Значит, для определения оптимального значения  $W$  следует применять градиентный метод.

Известно, что расчёт коэффициента  $W$  осуществляется не на основании мгновенного значения сигнала на выходе сумматора, а путём осреднения этих значений за некоторый интервал времени [5, 6]. Различие во времени существования сигнала и помехи должно быть использовано при выборе времени осреднения. Очевидно, что чем больше время осреднения, тем медленнее будет изменяться  $W$  при возникновении полезного сигнала. С другой стороны, сигнал помехи, достигающий пункта приёма из-за атмосферных аномалий, может быть подвержен замираниям, период которых соизмерим с длительностью метеорного радиотражения. Поэтому время осреднения не должно быть слишком большим, чтобы адаптивный процессор успевал «отслеживать» такие замирания. Выбор конкретного значения времени осреднения следует осуществлять исходя из особенностей помеховой обстановки.

Таким образом, при отсутствии полезного (метеорного) сигнала на обе антенны поступает только сигнал помехи. Разница в амплитудах помех в антеннах 1 и 2 обусловлена различной ориентацией их ДН, а разность фаз – их пространственным разнесением. Адаптивный процессор устанавливает такое значение комплексного коэффициента  $W$ , при котором помеха на входе сумматора имеет равные амплитуды и противоположные фазы, благодаря чему достигается минимум помехи на выходе сумматора. Следует обратить внимание, что благодаря ориентации ДН антенн согласно рис.4, напряжение помехи на выходе антенны 2 будет больше, чем на выходе антенны 1. Следовательно,  $|W| < 1$ .

При возникновении полезного сигнала он также принимается обеими антеннами, но теперь (см. рис. 4) его уровень в антенне 1 окажется больше, чем в антенне 2. При значении  $|W| < 1$  полезный сигнал на втором входе сумматора будет ещё в большей степени ослаблен. Поэтому, независимо от своей фазы, он существенно не повлияет на результат суммирования. Из-за того, что время подстройки коэффициента больше, чем время существования метеорного следа, его возникновение существенно не повлияет на значение коэффициента  $W$ , а значит и на уровень помехи на выходе сумматора.

В качестве дополнительного фактора, способствующего разделению двух ТВ сигналов, можно использовать поляризационные различия между ними.

Известно, что большинство антенн телепередатчиков формируют волну с горизонтальной поляризацией [7]. Влияние поляризационных явлений, обусловленных резонансом плазмы в ионизированном следе, на амплитудные и фазовые характеристики отраженных сигналов достаточно хорошо изучено для обратного рассеяния. Для  $a = 5 \cdot 10^{12}$  эл/см поляризационные явления при амплитудных измерениях (при

реальных значениях начального радиуса и длин волн, используемых в метеорной радиолокации) уже не проявляются. Критерием, используемым для оценки влияния поляризационных явлений, является равенство коэффициентов рассеяния при параллельной и перпендикулярной поляризациях падающей волны (амплитудный критерий) и поведение фазы коэффициента рассеяния (фазовый критерий).

Из анализа этих критериев для наклонного рассеяния следует вывод [8], что на длинных трассах вероятность появления поляризационных явлений больше, чем на коротких. На длинных трассах поляризационные эффекты будут более существенны для радиоотражений от следов с меньшей электронной плотностью, чем на коротких.

При строгом решении задачи рассеяния удастся установить явление, которое не учитывается в приближенной теории. Речь идет о повороте плоскости поляризации отраженного сигнала (точнее об изменении характера поляризации рассеянной волны). В случае, когда падающая волна поляризована линейно, причем вектор электрического поля либо параллелен, либо перпендикулярен к оси следа, рассеянная волна становится эллиптически поляризованной. И если при  $a > 10^{12}$  эл/см эллиптическая поляризация рассеянной волны выражена слабо и большая полуось эллипса поляризации повернута относительно плоскости поляризации падающей волны на малый угол, то в области промежуточных и насыщенных следов это явление может оказывать влияние на амплитуду и фазу рассеянного сигнала. Влияние этого эффекта должно быть более существенным для длинных трасс [8].

Значит, при решении нашей задачи надо учитывать, что будут присутствовать поляризационные изменения как полезного сигнала, так и помехи. Из сказанного выше можно заключить, что для адаптивной компенсации помех целесообразно использовать поляризационные различия сигнала и помехи. Наиболее интересен случай, когда помеха, перекрывающая сигнал в частотной и временной областях, воздействует по главному лучу диаграммы направленности приемной антенны, и поэтому ни пространственная, ни частотная или временная фильтрация помех невозможна.

При проведении исследований выяснилось, что в большинстве возможных сочетаний поляризаций и углов прихода сигнала и помехи обеспечивается сравнительно высокая степень подавления последней. Но следует отметить три случая, когда поляризационная селекция помех оказывается при определенных условиях малоэффективной.

Первый, когда направления прихода сигнала и помехи совпадают.

Второй соответствует ситуации, когда направления прихода сигнала и помехи взаимно противоположны. При этом подавление полезного сигнала имеет место в тех случаях, когда поляризация помехи сопряжена с поляризацией сигнала.

Третий отвечает некоторым условиям приема линейно-поляризованного сигнала. В этих условиях независимо от соотношений угла прихода сигнала и ориентации его поляризационного вектора возможно резкое снижение эффективности подавления помехи в широком секторе углов прихода последней. Степень этого ухудшения зависит от угла наклона поляризационного вектора и различия в азимутальных углах прихода сигнала и помехи. В тех случаях, когда прием сигнала и помехи осуществляется преимущественно одной из антенн, эффективность поляризационной селекции помех мала. Как и в адаптивной антенной системе (ААС) с использованием пространственного разнеса между элементами, здесь возникает задача исключения влияния полезного сигнала на работу цепей адаптации. Для этой цели могут быть применены методы, характерные для систем связи с адаптивной компенсацией помех, такие, как частотная режекция сигнала из цепей адаптации, паузы в излучении сигнала и другие методы временной и кодовой селекции.

Структурная схема простейшего поляризационного автокомпенсатора помех с биортогональными антенными системами (АС) приведена на рис. 5. Здесь в качестве основной и компенсационной антенн используются два ортогональных линейных вибратора, подключенных ко входам автокомпенсатора.

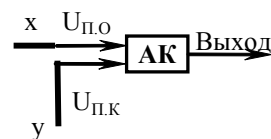


Рис. 5. Простейший поляризационный автокомпенсатор помех с биортогональными АС [6]

Большой интерес представляют случаи совместного использования поляризационно-временной и пространственно-временной обработки сигналов в антенных решетках с применением алгоритмов, синтезированных по критерию минимума среднеквадратической ошибки.

В то же время в отдельных случаях (например, в декаметровом диапазоне радиоволн) антенная решетка, состоящая из большого числа ортогональных вибраторов, представляет собой сравнительно сложную и дорогостоящую конструкцию. Большой интерес вызывает задача применения поляризационно-временной обработки сигналов и помех в широко используемом в системах дальней ионосферной радиосвязи декаметрового диапазона парке антенных решеток с горизонтальными вибраторами.

В случаях, когда вертикальные углы прихода сигнала и помехи различны, подавление последней реализуется за счет как поляризационных, так и пространственных различий. Существуют случаи, при которых в рассматриваемом варианте ААС эффективность подавления помех низка. Так, если полезный сигнал и помеха имеют одинаковую (вертикальную или горизонтальную) поляризацию, система не обладает селекцией во всей области азимутальных углов [6].

## Выводы

При реализации предлагаемого метода, основанного на применении адаптивных устройств, использующих пространственные и поляризационные различия между сигналом и помехами, оказывается возможным проведение исследований метеорного радиоканала полуактивной локации даже при наличии местных помех.

*Научная новизна* данного исследования состоит в том, что предложено применение метода разнесенного адаптивного приема для метеорной радиосвязи и метеорного исследования.

*Практическая значимость* предлагаемого решения состоит в том, что значительно расширяется область применения метода полуактивной локации при метеорных исследованиях, и тот объем научной информации, который может быть получен на его основе, также значительно увеличивается.

**Литература:** 1. Антипов И. Е., Бавыкина В. В., Коваль Ю. А., Шкарлет А. И. Оценка возможности приема ТВ сигналов через метеорные следы и её экспериментальное подтверждение. 1996. 196 с. 2. Антипов И. Е., Коваль Ю. А., Нестеренко Г. В. О возможности пассивной радиолокации метеорных следов // Радиотехника. 2004. Вып. 136. С. 91 - 94. 3. Антипов И.Е., Бавыкина В.В., Коваль Ю.А., Нестеренко Г.В., Троцин О. Л. Прием телевизионных

сигналов времени и частоты по метеорному радиоканалу // Радиотехника: 2001. Вып. 117. С. 42-45. 4. Грудинская Г. П. Распространение радиоволн. М.: Высш. школа, 1967. 244 с. 5. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986. 448 с. 6. Лосев Ю. И. ред Адаптивная компенсация помех в каналах связи. М., 1988. 208 с. 7. Седов С.А. Индивидуальные видеосредства. Киев: Наук. думка. 1990. 750 с. 8. Антипов И.Е. Оптимизация ориентации диаграмм направленности антенн метеорных радиотехнических систем с целью повышения их пропускной способности в условиях коротких трасс. Дисс... канд. техн. наук. Харьков, 1996. 144 с.

Поступила в редколлегию 30.03.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Титаренко Л. А.

**Антипов Иван Евгеньевич**, канд. техн. наук, докторант каф. ОРТ ХНУРЭ. Научные интересы: метеорная радиосвязь, метеорное распространение радиоволн. Адрес: Ураина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8-057-700-22-84.

**Коваль Юрий Александрович**, д-р техн. наук, проф. каф. ОРТ ХНУРЭ. Научные интересы: метеорная радиосвязь, синхронизация шкал времени. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8-057-700-22-84.

**Сапрыкин Анатолий Викторович**, соискатель ХНУРЭ, проходчик, АП шахта им. А.Ф. Засядько. Научные интересы: радиоэлектроника. Адрес: Украина, 83119, Донецк, ул. Щегина, 16, кв. 2, тел. 8-097-9327450.

УДК 621.372.8

## ЗАПРЕДЕЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОР СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

*СЛИПЧЕНКО Н.И.*

Приводится аналитический расчет запределного резонатора сложной структуры с диэлектрическими неоднородностями цилиндрической формы. Получена система уравнений в общем виде, которая позволяет определить коэффициенты отражения и передачи рассматриваемой структуры.

### Введение

Использование диэлектрических неоднородностей при расчете запределных резонаторов сложной структуры объясняется следующими полезными для практики обстоятельствами:

– электродинамические характеристики исследуемых резонаторов можно изменять, варьируя диаметры диэлектрических цилиндров и изменяя диэлектрические проницаемости материалов, из которых они изготовлены. В пределе при достаточно малых размерах цилиндров и больших значениях проницаемостей ма-

териалов можно перейти в каждой составной части запределного резонатора просто к диэлектрическому резонатору. При этом приближенно можно полагать, что стенки волновода оказывают небольшое возмущение на электромагнитные поля диэлектрического резонатора. Анализ для таких случаев приведен в [1-3];

– если уменьшать поперечные размеры волновода, то на частотах, ниже критических, существуют участки с нераспространяющимися волнами (запределные режимы), при этом в областях диэлектрических неоднородностей сохраняются распространяющиеся волны.

В результате использования волноводно-диэлектрических структур с запределными связями появляется возможность создавать резонансные элементы с достаточно большой нагруженной добротностью. В связи с этим создание и описание математических моделей подобных структур остается востребованным с точки зрения последующего анализа протекающих в них процессов.

### Постановка цели и задач исследования

Рассмотрим волноводно-диэлектрический резонатор сложной структуры с одной диэлектрической неоднородностью цилиндрической формы, а второй – плоской формы, который возбуждается прямоуголь-