

В.Мирошниченко, И.Мирошниченко, к.т.н., В.Сизов, д.т.н.,
Ростовский военный институт ракетных войск
им. Главного маршала артиллерии М.И.Неделина

АТМОСФЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ

Воздушные флуктуации и поглощение сигнала при атмосферном распространении ограничивают возможности оптических систем связи. Квантовые шумы, следствие дискретной "фотонной" природы света, неизбежны даже для идеальных приемников излучения. Однако атмосферные линии надежно обеспечивают информационную безопасность. И это привлекает к ним повышенное внимание.

Беспроводные атмосферные оптические линии связи (АОЛС), обладающие повышенной помехозащищенностью, перспективны для систем связи и управления. Методы модуляции и приема оптического излучения на основе фазовой модуляции и гомодинного приема оптического сигнала обладают высокой устойчивостью к флуктуациям в условиях сильного влияния атмосферы. Плюс к этому они обеспечивают необходимый уровень безопасности передаваемой информации в оптических системах связи, системах управления, системах охраны объектов.

Известны гомодинные системы оптического диапазона [1], использующие сигнал местного гетеродина. При этом требования к когерентности, стабильности частоты и пространственному совмещению фронтов сигнального луча и луча местного гетеродина чрезвычайно высоки. Это приводит к трудностям практического исполнения таких систем, к тому же помехоустойчивость АОЛС остается небольшой.

С другой стороны, созданы АОЛС, в которых используют устройство для непрерывного динамического формирования волнового фронта гетеродина в соответствии с приходящим волновым фронтом сигнала [2]. Принцип его работы заключается в том, что несущая приходящего оптического сигнала или принятый опорный "пилот-сигнал" усиливаются в многомодовом узкополосном лазерном усилителе. При этом волновой фронт усиливаемого сигнала сохраняется, а затем используется в качестве сигнала гетеродина. Однако и тут

проявляется сложность практической реализации квантового усилителя, особенно при наличии доплеровского сдвига частоты принимаемого сигнала. Зависимость величины выходного сигнала приемника от амплитуды и фазы входного сигнала снижает помехозащищенность. Кроме того, для выделения "пилот-сигнала" или несущей, его последующего усиления в многомодовом усилителе требуется большое количество оптических элементов на приемной стороне АОЛС. Их число увеличивается при технической реализации решения. Для сохранения волнового фронта несущей и совмещения с фронтом принимаемого сигнала требуются дополнительные оптические элементы. Все они являются источником дополнительных шумов.

В предлагаемой АОЛС решена задача повышения устойчивости к амплитудно-фазовым возмущениям. Одновременно в ней использована упрощенная оптическая схема по сравнению с известными техническими решениями создания помехоустойчивой АОЛС. Достигается это с помощью пространственного совмещения принятых когерентных лучей, которые направляются на матрицу фотоприемников. В их плоскости формируется интерференционная картина, не чувствительная к одинаковым приращениям фазы интерферирующих лучей. А делитель сигналов от двух групп фотоприемников, определяющий отношение амплитуд фото-ЭДС, размещенных в пределах интерференционной картины, не чувствителен к одновременному изменению амплитуд входных сигнала.

лов. Фотоприемники размещены таким образом, что их положение соответствует периоду интерференционной картины.

Разработанное устройство формирования передаваемых опорного и информационного лучей позволило исключить часть оптических элементов [3]. В новой схеме отсутствуют элементы, используемые для выделения опорного луча, его усиления и совмещения с фронтом информационного луча. Принцип работы АОЛС заключается в следующем. На передающей стороне АОЛС формируют два когерентных пространственно совмещенных луча одинаковой амплитуды. Один из них является опорным, а второй модулируется по фазе по закону передаваемого сообщения. Пространственное совмещение опорного и информационного лучей делает их одинаково пораженными как амплитудными, так и фазовыми возмущениями на трассе распространения оптического сигнала от пункта его передачи до пункта приема.

На приемной стороне АОЛС оба луча создают интерференционную картину в плоскости матрицы фотоприемников, которые разделены на две группы, отстоящие друг от друга в соответствии с пространственным периодом интерференционной картины в отсутствие модуляции. При фазовой модуляции сигнального луча происходит перераспределение

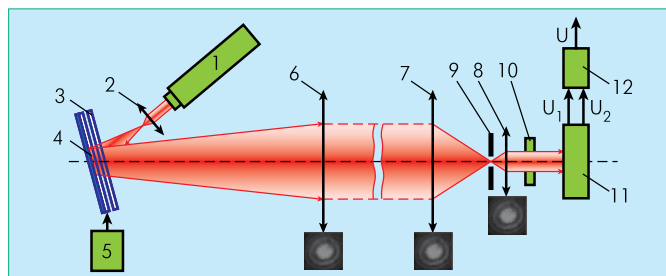


Рис. 1 Схема атмосферной оптической линии связи: источник когерентного оптического излучения 1, короткофокусная собирающая линза 2, светоделительная пластина 3, фазовый модулятор отражательного типа 4, источник передаваемого сигнала 5, длиннофокусная собирающая линза 6, длиннофокусная 7 и короткофокусная 8 линзы, диафрагма пространственного фильтра 9, интерференционный фильтр 10, матрица фотоприемников 11, измеритель отношения сигналов 12

энергии оптического поля в плоскости интерференционной картины, определяемое законом модуляции (вплоть до смены светлых областей на темные). Процедура измерений сводится к одновременному разделному измерению выходных сигналов первой и второй групп фотоприемников. Затем находят отношение измеренных величин, которое пропорционально модулирующему сигналу в пределах линейного участка демодуляционной характеристики.

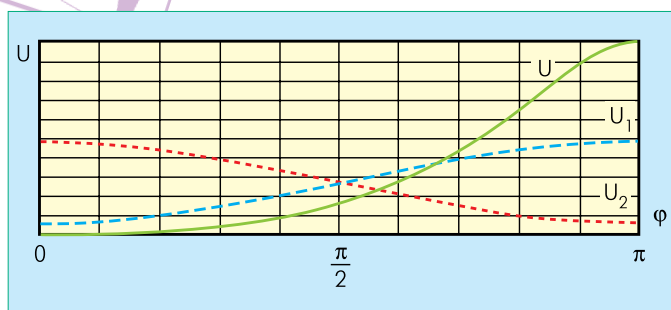


Рис. 2 Зависимость выходных сигналов (U_1, U_2) фотоприемников от изменения фазы φ информационного сигнала

На приемную сторону АОЛС приходят пространственно совмещенные когерентные лучи. Они получили одинаковые амплитудно-фазовые возмущения и создают интерференционную картину в плоскости фотоприемников. Распределение интенсивности в интерференционной картине зависит от разности фаз опорного и сигнального лучей. Это приводит к устранению влияния фазовых возмущений на трассе распространения совмещенных лучей. Деление значений выходных сигналов одной группы фотоприемников на значения выходных сигналов другой группы необходимо для того, чтобы исключить влияние амплитудных возмущений на выходной сигнал делителя.

Предлагаемая АОЛС (рис.1) позволяет выделять модулирующий сигнал без дополнительной обработки оптических лучей в приемном устройстве. Подчеркнем, что это уменьшает число элементов его оптической схемы, а значит и число источников шумов. Атмосферная линия связи работает следующим образом. Когерентное монохроматическое излучение лазера 1 после прохождения собирающей короткофокусной линзы 2 преобразуется в расходящийся поток, часть которого отражается светоделителем 3, а вторая часть попадает на оптический фазовый модулятор отражательного типа 4 (например, на основе линейного электрооптического эффекта в кристаллах KDP или обратного пьезоэлектрического эффекта), который управляется напряжением от источника передаваемого сигнала 5. При этом изменение фазы по закону модуляции производится в пределах от 0 до π . Светоделительная пластина 3 и фазовый модулятор 4 юстируются так, чтобы отраженные от них лучи направлялись вдоль оптической оси длиннофокусной собирающей линзы 6.

Таким образом, на выходе оптической системы передающей части АОЛС (после линзы 6) формируется луч, состоящий из когерентных пространственно совмещенных опорного (немодулированного) и информационного (модулированного по фазе) лучей. Эти лучи, пройдя трассу распространения оптического сигнала, достигают приемной системы, оптическая ось которой совмещена с оптической осью передающей системы. Длиннофокусная 7 и короткофокусная 8 линзы с совмещенными фокусами составляют приемную оптическую систему. В точке совмещения фокусов линз 7 и 8 размещена диафрагма пространственного фильтра. Позади

линзы 8 размещен интерференционный фильтр 10, настроенный на частоту используемого оптического излучения. После пространственной и частотной селекции принятое оптическое излучение направляется на матрицу фотоприемников 11, в плоскости которой формируется интерференционная картина в виде концентрических окружностей, являющаяся результатом сложения двух принятых когерентных пространственно совмещенных лучей – опорного и фазомодулированного. Матрица фотоприемников 11 составлена из фотодетекторов, заполняющих всю плоскость, в пределах которой сформирована основная часть интерференционной картины. Причем все фотодетекторы разделены на две группы. В первую группу объединены фотодетекторы, расположенные в светлых участках интерференционной картины, зафиксированной при отсутствии модулирующего сигнала, а во вторую – фотодетекторы, расположенные в темных участках "остановленной" интерференционной картины. Электрические сигналы от двух групп фотоприемников подаются на делитель, выходной сигнал которого, пропорциональный частному от деления фото-ЭДС первой группы фотоприемников на фото-ЭДС второй группы, и является принятым модулирующим сигналом.

На рис.2 приведены графические зависимости экспериментально полученных сигналов на выходе первой и второй групп фотоприемников (U_1 – пунктирная и U_2 – штриховая линии) при изменении фазы информационного луча, а также график, полученный в результате нахождения отношения этих величин (U – сплошная линия), отражающий зависимость выходного сигнала приемника от фазы информационного луча, являющийся демодуляционной характеристикой приемника. Как видно из полученной зависимости, на ней может быть выделен линейный участок для осуществления линейной аналоговой модуляции. Для передачи цифрового сигнала может быть использована фазовая манипуляция (0; π).

Научная новизна и значимость разработанной АОЛС подтверждаются патентом Российской Федерации на изобретение [4], отмечены медалью Российской академии наук в 2006 году, положительными отзывами специалистов ведущих научно-исследовательских организаций и предприятий промышленности. Представленные технические решения уже успешно используются с 2006 года при создании полномасштабной атмосферной оптической линии связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Пратт В.К.** Лазерные системы связи. – М.: Связь, 1972.
2. **Керр, Титтертон и др.** Оптическая связь через атмосферу. – ТИИЭР, 1970, т.58, № 10.
3. **Сизов В.П., Нестеров В.В., Мирошниченко И.П.** Атмосферная оптическая линия связи с фазовой модуляцией. – Приборостроение, 2006, т. 49. № 1.
4. **Мирошниченко И.П., Мирошниченко В.И., Нестеров В.В. и др.** Оптическая линия связи. Патент РФ № 2236089 от 10.09.04 г.