

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОЛОСОВОЙ СВЯЗИ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

© 2016 г. Д.А. ШКОДИН

Московский технический университет связи и информатики

Невозможно переоценить роль авиации в жизни государства и человека. Но современный ритм и уровень развития предъявляют высокие требования ко многим областям деятельности, в том числе к авионике – системам бортовой электроники.

Выполняя функции связи, навигации, индикации, управления полетами, предупреждения столкновений, метеонаблюдения, управления воздушным судном и контроля параметров полета авионика и совершенствование ее технологий являются необходимыми на пути решения проблем пропускной способности аэропортов и безопасности перелетов.

Решения по вопросам развития гражданской авиации закрепляются стандартами на международном уровне специализированным учреждением ООН – Международной организацией гражданской авиации (International Civil Aviation Organization). Действующий стандарт электросвязи гражданской авиации был утвержден Конвенцией о международной гражданской авиации, состоявшейся в 2007 году в Чикаго. Все вопросы, касающиеся систем связи, главным образом описаны в томе III, системам речевой связи посвящена его вторая часть.

На рис. 1 изображена диаграмма используемых частот гражданской авиации. ACARS, ATC и AOC – сервисы и приложения, использующие VDL mode 2 транспондеры для широкополосного обмена информацией о погодных условиях, опасностях, планах и параметрах полетов. Передаваемая текстовая информация сохраняется до возникновения необходимости, выводится на экран или воспроизводится синтезаторами речи в центрах управления полетами и воздушных судах.

Командная радиосвязь (Voice на диаграмме) передается в аналоговом виде с использованием амплитудной модуляции. Выделенный диапазон разбит на полосы по 25 кГц и 8.33 кГц [1]. По ряду причин используется в основном амплитудная модуляция. Данный вид связи – единственный способ передачи телефонного сигнала между воздушными судами и наземной станцией.

Главное направление развития гражданской авионики описывается аббревиатурой CNS/ATM, которая переводится как “управление воздушным движением путём решения проблем связи, навигации и наблюдения”. Основным шагом в этом направлении является разработка стандарта VDL mode 4, описывающего самоорганизующийся протокол многоканального доступа с временным разделением каналов (Self-Organized Time Division Multiple Access). Его внедрение позволит объединить все воздушные и наземные объекты в одну авиационную сеть.

Преимущество такого подхода состоит в переходе от топологии точка-точка к каждый-с-каждым. Возможность передачи данных от одного участника сети любому другому через цепочку из третьих, выступающих в данном случае ретрансляторами, позволит осуществлять связь в обход препятствий, реализовать пассивную и активную навигацию, защиту от квалифицированных целенаправленных помех, повысить ситуационную осведомленность и безопасность полетов. Становится возможной и интеграция дистанционно пилотируемых судов в гражданское воздушное пространство с увеличением дальности управления. А развитие авионики видится в разработке новых и совершенствовании существующих приложений и сервисов.

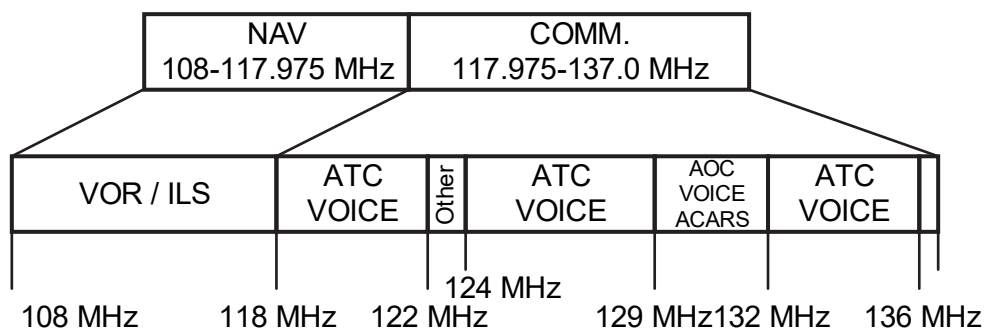


Рис. 1. Частотный план гражданской авиации.

В этом смысле интересны проблемы командной радиосвязи. И хотя нет объективных оценок, записи разговоров пилотов и диспетчеров, собранные любителями вблизи аэропортов и доступные в сети интернет, позволяют говорить о плохом качестве сигнала. Дальность же ограничивается максимальным расстоянием действия используемых транспондеров, которая при организации речевого канала борт-борт составляет 400 км, а борт-диспетчер – 300 км.

Согласно опыту всех областей связи, самым эффективным способом улучшения качества и увеличения дальности является цифровизация, за счет возможности регенерации и введения избыточности [2]. Но в авионике эта задача сталкивается с трудностями организационного и психологического плана.

В 2003 году Федеральным управлением гражданской авиации США совместно с организацией “Mitre” была разработана система цифровой связи для гражданской авиации, вошедшая в стандарты Международной организации гражданской авиации как VDL mode 3. Система использовала временное разделение каналов и D8PSK манипуляцию для передачи данных и цифровой речи во временных слотах, распределяемых воздушным суднам с земли [1]. Применялся алгоритм сжатия речи AMBE-ATC-10, который снижал требуемую скорость передачи до 4.8 кбит/с. Система не была принята в эксплуатацию по параметрам узнаваемости и различимости речи, которые особенно важны при разговоре пилота с диспетчером при посадке. Кроме того, предложенная цифровая система восстанавливала сигналы разной удаленности с одним уровнем, что оказалось неприемлемо для пилотов с психологической точки зрения, так как чем громче слышится голос, тем ближе и опаснее пилотами воспринимается объект.

Да, цифровую речь необходимо вводить, но постепенно. Параллельно этому процессу необходимо совершенствовать текущие решения. И VDL mode 4 в этом смысле можно использовать как базу для приложения сигнализации, которое позволит осуществлять запросы на ретрансляцию голосового амплитудно-модулированного сигнала одного участника сети другим.

В настоящее время на базе ФГУП «ГосНИИАС» и ИКАО ведутся работы по реализации самоорганизующейся авиационной сети (Self-Organizing Airborne Network) [3]. Система должна поддерживать цифровую и аналоговую передачу речевых сигналов. Сжатие цифровой речи планируется производить по алгоритму ITU-T G.729 CS-ACELP, который обеспечивает узнаваемость и требует скорость передачи 8кбит/с.

Но задача ретрансляции аналогового речевого сигнала не является тривиальной для авионии. Обычно в радиосвязи с целью минимизации взаимных помех используются специально составленные планы распределения частот, которые разделяют направления передачи. Однако, применение двух- или четырехчастотного плана в случае командной радиосвязи недопустимо по следующим причинам.

Во-первых, использование нескольких частот накладывает большие затраты на частотный ресурс, нехватка которого остро ощущается в крупных аэропортах. Во-вторых, воздушному судну приписывается частота для осуществления радиосвязи на время полёта или до пересечения воздушной границы с другим государством. При использовании вспомогательных частот возникает возможность создания помехи для других участников воздушного движения. Так же второй аспект особенно критичен для

текущей осведомленности в воздушном пространстве. Таким образом, транспондер, осуществляющий ретрансляцию речевого сигнала, должен передать его на той же частоте, на которой принял.

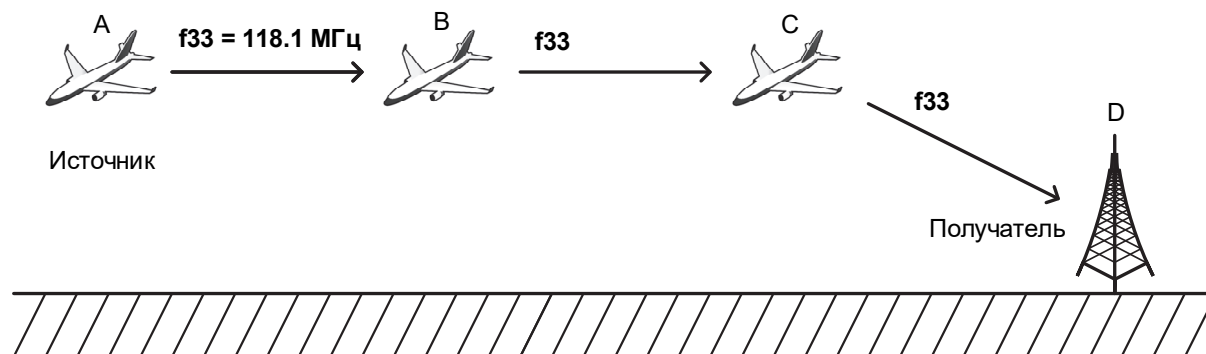


Рис. 2. Иллюстрация требования использования одной частоты при ретрансляции.

Системы навигации, индикации и предупреждения столкновений авионики производят взаимное оповещение других судов в воздушном пространстве. Наряду с ними системы связи также используют всенаправленную антенну для радиосвязи.

Так как диаграмма направленности приемопередающей антенны сферическая и ретрансляция должна производиться на одной частоте на входе приемника ретранслятора или получателя телефонного сигнала непременно будут возникать сигналы обратной связи. Это – измененные передаваемые полезные сигналы с задержкой на обработку и распространение. Они так же будут усиливаться и ретранслироваться, что может привести к появлению внятной помехи и, главное, самовозбуждению системы.

Можно выделить следующие возможные источники появления сигналов обратной связи:

- Естественное эхо, возникающее в результате отражения электромагнитных волн от океана, зданий или земли с временем задержки распространения Трасп;
- Искусственное эхо или сигнал, передаваемый в той же полосе частот следующим звеном в цепи ретрансляции с временем задержки на обработку Тобр и распространения.

Эхо – физическое явление, заключающееся в принятии наблюдателем отраженной от препятствия волны. В данном случае радиоволны отражаются от океана при движении воздушного судна на больших и средних высотах, от зданий и земли на малых высотах или при посадке. Повторное излучение принятого сигнала последующими объектами в цепочке ретрансляции является эхом, возникающим вследствие функционирования системы.

Прохождение сигнала и возникновение сигналов обратной связи в схеме ретрансляции в одной полосе частот проиллюстрировано на рис. 3.

Главная опасность эхосигналов заключается в том, что они могут перегрузить систему, то есть ввести ее в такое состояние, когда происходит генерация, но не усиление. Кроме этого эхо при определенных условиях затрудняет восприятие речи и негативно влияет на концентрацию и самочувствие.

Важным обстоятельством является полудуплексный способ использования командной радиосвязи, обусловленный требованием использовать одну полосу частот. После установки частоты аппаратура находится в режиме прослушивания, то есть усиления входящих сигналов. Для разговора диспетчеру или пилоту необходимо перевести оборудование в соответствующий режим, нажав кнопку. При этом антенна будет скоммутирована на передатчик, и, таким образом, одновременное прослушивание и передача телефонного сигнала невозможны. В то же время полнодуплексная связь представляется более удобной и естественной для конечного пользователя.

Выделенная проблема появления эха становится преградой на пути развития командной радиосвязи. Главной задачей для ее решения видится разработка эхоком-

пенсирующего устройства как части совместимого с VDL mode 4 транспондера.

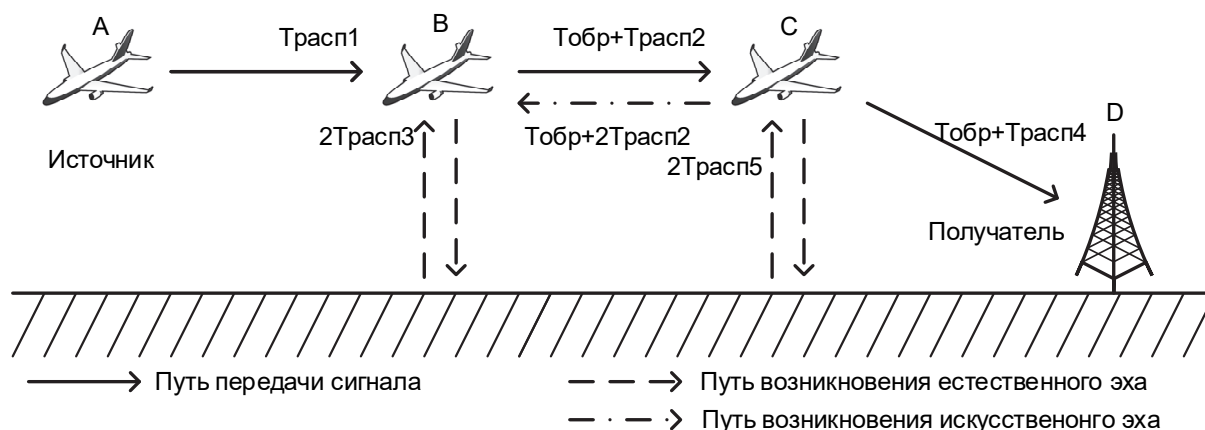


Рис. 3. Иллюстрация ретрансляции сигнала в одной полосе частот и временных задержек сигналов обратной связи.

Эхокомпенсатор – средство подавления эхосигналов, работа которого основана на использовании компенсационного принципа, который заключается в формировании оценочной копии эхосигнала из эхотракта и ее последующем вычитании из принимаемого сигнала[4].

Эхотракт, как правило, с большой точностью аппроксимируется конечной импульсной характеристикой. Поэтому в основе устройства эхокомпенсации обычно лежит линейный адаптивный трансверсальный цифровой фильтр, то есть цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой с возможностью динамического изменения его коэффициентов [5].

Классическом применении эхокомпенсатора проиллюстрировано на рис. 4. Алгоритм эхокомпенсации использует информацию о передаваемом полезном телефонном сигнале  $x$  и принимаемом сигнале  $z$ , представляющем из себя подверженную шумам и искажениям смесь принимаемого полезного сигнала  $y'$  и отраженного передаваемого сигнала  $x'$ . На основе компенсационного метода, который в свою очередь действует согласно тому или иному критерию, алгоритм подстраивает коэффициенты трансверсального фильтра так, чтобы минимизировать присутствие эхосигнала  $x'$  в принимаемом сигнале.

В этом случае отклик эхотракта  $x'$  находится как свертка значений импульсной характеристики эхотракта  $g$  и полезного передаваемого сигнала  $x$ .  $N$  – количество отсчетов адаптивного фильтра.

$$x'(i) = \sum_j^N x(i-j) \cdot g(j)$$

Компенсированный сигнал  $y''$  находится вычитанием созданной копии отклика эхотракта из принятого сигнала  $z$  и содержит остаточное эхо, величина которого определяет эффективность работы эхокомпенсатора.

$$y''(i) = z(i) - x''(i) = y' + \varepsilon \cdot x'$$

Оценка эха полезного передаваемого сигнала  $x''$  находится как свертка полезного передаваемого сигнала  $x$  и импульсной характеристики эхокомпенсатора  $k$ .

$$x''(i) = \sum_j^N x(i-j) \cdot k(j)$$

Всесторонний обзор алгоритмов и методов эхокомпенсации, то есть способов подстройки коэффициентов импульсной характеристики фильтра эхокомпенсатора  $k$

так, чтобы ее значения стремились к неизвестным значениям импульсной характеристики эхотракта  $g$ , доступен в [5].

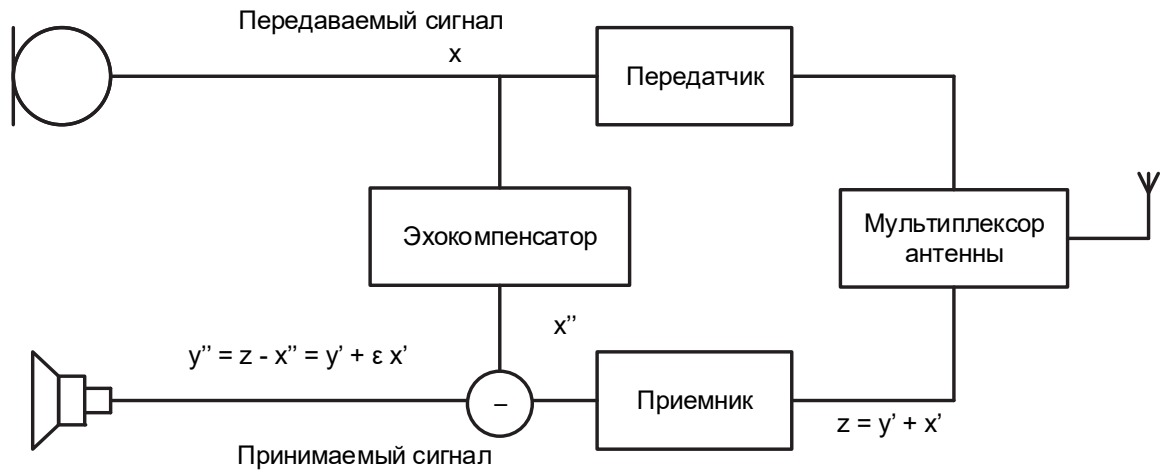


Рис. 4. Иллюстрация компенсационного принципа.

Несколько иначе видится применение компенсационного принципа к задаче ретрансляции. Ведь перед ретранслирующим транспондером стоит задача принять сигнал, усилить и передать далее, компенсировав эхо. При этом передаваемый далее сигнал и принимаемый сигнал, то есть сумма сигналов эхо и принимаемого от источника или предыдущего ретранслятора сигнала, имеют одно происхождение. Это приведет к тому, что компенсирован будет полезный сигнал и ретрансляция окажется невозможной.

Остается внести задержку на обработку, достаточную для того, чтобы существенно уменьшить меру схожести передаваемого и принимаемого сигналов. С другой стороны, необходимо обеспечить минимально возможное значение задержки как показателя качества передачи разрабатываемой системы.

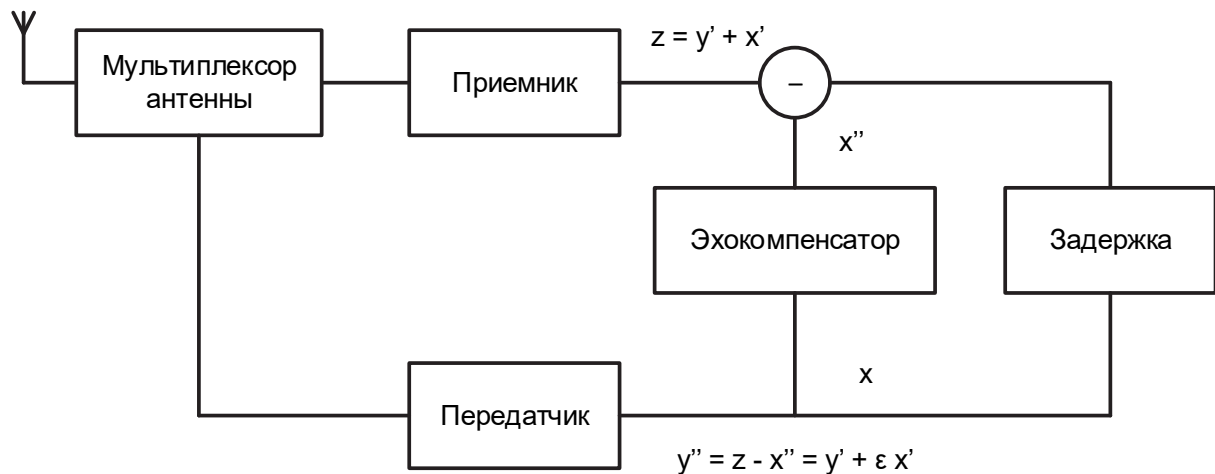


Рис. 5. Иллюстрация применения компенсационного принципа к задаче ретрансляции.

Для оценки максимального количества значащих отсчетов импульсной характеристики эхотракта, то есть требуемого порядка адаптивного фильтра, обратимся к выделенным источникам сигналов обратной связи.

Естественное эхо, возникающее в результате всевозможных отражений, будет обладать максимальной задержкой в случае отражения сигнала от океана. При этом эхосигнал пройдет путь равный удвоенной текущей высоте воздушного судна. Макси-

мальная высота полета гражданского самолета составляет  $h = 10\,000$  м. Максимальное значение задержки в этом случае составит

$$T_{\text{отр макс}} = 2h/c = \frac{2 \cdot 10000 \text{ м}}{299792458 \text{ м/с}} = 0.067 \text{ мс},$$

что при частоте дискретизации 8 кГц и отсутствии переотражений соответствует требуемому количеству отсчетов адаптивного фильтра

$$N = \lceil T_{\text{отр макс}} / T_{\text{дискр}} \rceil = \lceil 0.067 \text{ мс} / 0.125 \text{ мс} \rceil = \lceil 0.536 \rceil \rightarrow 1$$

Время задержки искусственного эха, вызванного приемом сигнала, передаваемого следующим звеном в цепочке ретрансляции ограничено сверху максимальной дальностью работы транспондера. Максимальная величина равна

$$T_{\text{ретр макс}} = 2R/c + T_{\text{обр}} = \frac{2 \cdot 400 \text{ км}}{299792458 \text{ м/с}} = 2.7 \text{ мс} + T_{\text{обр}}.$$

Задержка 2.7 мс соответствует 22 отсчетам. Кроме этого ожидается, что необходимая величина задержки не будет на порядок превосходить задержку естественного эха. Поэтому целесообразно реализовать устройство в виде двух независимых последовательно включенных эхокомпенсаторов. При этом, так как время задержки на обработку известно заранее, а время распространения можно получить, зная координаты следующего в цепочке ретрансляции транспондера, для компенсации искусственного эха также требуется учитывать только один отсчет. Такой подход позволит существенно сократить количество вычислительных операций, а также предоставит возможность использовать разные методы и параметры для борьбы с естественным и искусственным эхом.

Выделенная проблема возникновения сигналов обратной связи становится ключевой для развития систем командной радиосвязи авионики в текущем направлении. Ее решение представляется в выборе или разработке метода и алгоритма эхокомпенсации и проектировании устройства эхокомпенсации для решения задачи приема и повторной передачи аналогового сигнала в одной полосе частот. Обеспечение усиления без самовозбуждения и развязки направлений передачи позволит существенно улучшить качество передаваемого телефонного сигнала, повысить безопасность и осведомленность в рамках концепции авиационной сети.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИКАО. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации // Авиационная электросвязь: Т.3. Системы связи. Второе издание. – 2007. – 276 с.
2. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. – М: Горячая линия-Телеком, 2005. – 416 с.
3. ICAO. Use of self-organizing airborne networks to monitor commercial aircraft globally // Multidisciplinary Meeting regarding Global Tracking: Working Paper 10. – 2014. – 6 p.
4. ITU-T. Recommendation G.165. Echo cancellers. – ITU, 1993. – 27 p.
5. Шаврин С.С. Развитие теории и техники подавления эффекта электрического эха в телекоммуникациях: дисс. ... док. техн. наук. – М.: МТУСИ, 2009. – 379 с.