

УДК 656.7.052

ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ОВЧ-СИСТЕМЫ СВЯЗИ РЕЖИМА VDL-2 ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ TIS-C

Л.М. Вдовин, начальник отдела ОАО «НПП «Полет», к.т.н.

В.Г. Баранов, директор ИРИТ НГТУ им. П.Е. Алексеева, к.т.н.

В.Р. Милов, зав. кафедрой НГТУ им. П.Е. Алексеева, д.т.н.; vladimir.milov@gmail.com

Т.И. Горячева, доцент НГТУ им. П.Е. Алексеева, к.т.н.

Ключевые слова: концепция совместных услуг воздушного движения, ОВЧ-система связи VDL-2, приложения бортовой системы гарантированного разделения (ASAS): ситуационного предупреждения, разнесения, разделения, саморазделения; валидация концепции TIS-C с использованием режима VDL-2, рабочие сценарии и результаты моделирования.

Введение. Основной сферой деятельности рабочей группы поддержки (WGM), входящей в состав группы экспертов мобильной авиационной связи (Aeronautical Mobile Communications Panel – AMCP) Международной организации гражданской авиации (International Civil Aviation Organization – ICAO, или ИКАО) являются сравнительный анализ систем линий данных, обеспечивающих передачу данных новых приложений организации воздушного движения (Air Traffic Management – ATM), и оценка выигрышей. Эта группа осуществляет контроль за разработкой, внедрением и стандартизацией линий передачи данных, работающих в полосе ОВЧ, поддерживающих приложения связи (Communication – COM). WGM включила в Приложение 10 к соглашениям ИКАО [1] три ОВЧ-системы, способные поддерживать приложения COM: VDL-2, VDL-3 и VDL-4. Причем VDL-2 и VDL-3 определены ИКАО для общей связи «точка-точка», в то время как режим VDL-4 официально одобрен для приложений наблюдения (ADS-B и ADS-C). Поправки для коррекции Приложения 10 и Doc. 9816 [2], состоящие в том, что VDL-4 принят как универсальная линия данных связи и наблюдения, были подготовлены и выданы WGM к исполнению в 2010 г.

Существуют и другие системы линий данных, которые поддерживают услуги связи COM, в частности линия данных режима S и спутниковая линия данных SATCOM. Возможность поддержки связи «точка-точка» имеют еще ряд систем. Рабочая группа связи ИКАО (WGC) проводит исследования

новых систем авиационной связи, например линий данных, базирующихся на стандартах LTE, 802.16 (WiMAX) и IEEE 802.11 (Wi-Fi), однако они выйдут за рамки данной статьи.

В настоящее время для внедрения концепции совместных услуг воздушного движения (Cooperative Air Traffic Services) определены наиболее вероятные претенденты на роль линий связи – это ОВЧ-системы связи VDL-2 и VDL-4.

VDL-2 рассматривается как исполнитель услуг для приложений «Связь данных пилот-диспетчер» (Controller-Pilot Data Link Communications – CPDLC) и «Бортовая система гарантированного разделения» (Airborne Separation Assurance System – ASAS). В частности, VDL-2 исследована и одобрена в качестве линии данных приложения «Контрактная информационная служба воздушного движения» (Traffic Information Services in Contract Mode – TIS-C), которая сообщает на борт важную информацию совместных услуг воздушного движения и в сочетании с приложением ADS-B является составной частью системы ASAS.

VDL-4 рассматривается в качестве линии данных приложений широкополосного автоматического зависящего наблюдения (Automatic Dependent Surveillance Broadcast – ADS-B), контрактного ADS-C, CPDLC и многих других критичных к параметру времени приложений.

Дискуссии, развернувшиеся среди экспертов AMCP по вопросу сравнительных характеристик систем линий данных, представлены в [3–7]. Особое внимание уделяется перспективам внедрения режима VDL-2 в интересах ASAS, чему и посвящена данная статья.

Концепция совместных услуг воздушного движения и приложение ASAS. Современная система ATM требует новых рабочих концепций. Всесторонние исследования были предприняты ИКАО и комиссиями Евроконтроля по аэронавигации и организации воздушного движения в целях интеграции воздуш-

ных и наземных систем под эгидой разработки «Концепции совместных услуг воздушного движения» [4]. Предваряя более высокое совмещение решения задач между диспетчером воздушного движения и пилотом, данная концепция включает приложения для связи данных «пилот-диспетчер» (CPDLC), приложения ADS-B и приложения бортовой системы гарантированного разделения (ASAS) [3–5].

Приложение CPDLC внедряется в США в рамках программы «База 1 свободного полета» (Free Flight Build 1) Федеральной авиационной администрацией (Federal Aviation Administration – FAA) и в Европе Евроконтролем (программа «LINK 2000+»). Создание мастер-плана внедрения первого пакета приложений объединенного бортового и наземного наблюдения еще более активизировало процесс разработки приложений ADS-B и ASAS [8].

Исследования ведутся по обе стороны Атлантики. В Европе это MA-AFAS (www.ma-afas.com), AFAS (www.airbus.com), INTENT (www.nlr.nl/public/hosted-sites/intent/download.htm), NUP2 (www.nup.nu), MFF/MEDUP (www.medff.it, www.adsmedup.it), TALIS (<http://talis.eurocontrol.fr>), COSPACE (www.eurocontrol.fr/projects/freer); в США – DAG-TM (www.asc.nasa.gov/aatt/dag.html), SafeFlight 21 (www2.faa.gov/safeflight21), Capstone (www.alaska.faa.gov/capstone). Главные усилия разработчиков направлены на приложения гарантированного разделения (ASAS), обрабатывающие новые типы процедур управления воздушным движением, в которых диспетчеры делегируют часть своих функций пилоту.

В зависимости от степени делегирования задач выделяются четыре категории приложений ASAS [6]:

1. Приложения ситуационного предупреждения (Situational Awareness), позволяющие пилоту быть более осведомленным о воздушной обстановке, главным образом с помощью ситуационной картины воздушного движения, отображаемой на экране кабин-

ного дисплея информации о движении (Cockpit Display of Traffic Information – CDTI), основанной на приложении ADS-B [2].

2. Приложения разнесения (Spacing). С их помощью диспетчер делегирует некоторые задачи пространственного разнесения воздушных судов пилоту, который может быстро, с опережением захватить управление воздушным судном (ВС) или объединением ВС внутри потоков.

3. Приложения разделения (Separation). Эта промежуточная категория описывает ситуацию, когда экипаж борта несет ответственность за разрешение конфликтов, но является еще и инструктируемым по процедурам, которые следует реализовать.

4. Приложения саморазделения (Self-Separation), полностью управляющие автономным ВС.

Приложение информационных услуг воздушного движения контрактного режима (TIS-C). Это новое приложение, где слово «контракт» служит синонимом слов «взаимодействие, сотрудничество». Здесь предлагаются протоколы клиент-сервер между «Воздухом» и «Землей», подобные известным из World-WideWeb; за счет контрактного поведения их содержание можно расширить для приложений безопасности воздушного движения.

Преимущества приложения услуг TIS-C по сравнению с услугами TIS широковещательного режима (Traffic Information Services in Broadcast Mode – TIS-B), особенно когда он комбинирован с обязательной для приложения ADS-B дешевой и доступной технологией режима MODE-S, или технологией VDL-4, исследовались и обсуждались в рамках Евроконтроля. Исследования показали, что приложение TIS-C при использовании режима передачи данных VDL-2 удовлетворяет базовым требованиям приложения бортовой системы гарантированного разделения (ASAS). Технические концепции и протоколы TIS-C в настоящее время детально разработаны и доступны.

Евроконтроль провел валидацию концепции TIS-C с использованием режима передачи данных VDL-2 [3, 7]. В качестве инструмента валидации применялся имитатор технологий авиационной связи (Aeronautical Communications Technologies Simulator – ACTS), на данный момент один из наиболее совершенных имитаторов режима VDL-2. Были проанализированы несколько приложений TIS-C

Размеры треков в октетах без сжатия

Тип	Позиция 3D	Позиция 4D	Трек 1	Трек 2	Трек 3	Full 4D
Идентификатор полета	-	-	-	8	8	8
Идентификатор режима S/A/C	-	-	2	2	2	2
Идентификатор трека	4	4	4	4	4	4
Позиция 3D: широта, долгота	22	-	-	-	-	-
Позиция 4D: широта, долгота	-	30	30	30	30	30
Воздушная скорость	-	-	4	4	4	4
Курс	-	-	2	2	2	2
Вертикальная скорость	-	-	-	3	3	3
Наземная скорость	-	-	-	4	4	4
Угол трека	-	-	-	2	2	2
Идентификатор источника данных	-	-	-	4	4	4
Защищенный 3D-профиль	-	-	-	-	2×22	-
Защищенный 4D-профиль	-	-	-	-	-	20×30
Итого	26	34	42	63	107	663

для ASAS; некоторые сценарии запускались с разными нагрузками трафика, степенями оснащения и параметрами VDL-2. Исследования Евроконтроля показали, что концепция TIS-C на базе режима VDL-2 возможна, при этом были продемонстрированы и ее ограничения.

Результаты валидации, выведенные из имитационного моделирования, представлены ниже. С приложением TIS-C кабина экипажа сначала запрашивает информацию от провайдеров наземных услуг и затем принимает эти услуги с помощью успешного управления контрактом. Начальные услуги связаны с движением и в основном фокусируются на ситуационном предупреждении пилота, т.е. с Земли передается информация о соседних ВС, их координатах, векторах скорости и возможных конфликтах воздушного движения.

Данные приложений TIS-C, передаваемые в режиме VDL-2. Содержание данных варьируется в зависимости от рабочих приложений, поддерживаемых TIS-C, как описано в рабочем сценарии ниже. Поэтому необходимо определить размер данных, которые передаются от наземной станции (НС) воздушному судну. Дальнейшая оптимизация может быть достигнута с помощью сжатия, т.е. правил кодирования пакетов, применяемых в авиационной сети электросвязи. Типы пакетов данных, передаваемых в интересах реализации приложений TIS-C, с указанием их размеров приведены в таблице. Типы пакетов данных заданы в определениях отчетов о техническом развитии линий данных для TIS-B, подготовленных группой

экспертов ИКАО по мобильной связи [4, 5]. В таблице приведены несколько размеров форматов пакетов для разных пользователей:

- простая 3D-позиция (широта, долгота) сообщает точку на экране радара;
- 4D-позиция (широта, долгота) является точкой на экране радара с временной меткой (точкой со штампом времени);
- трек 1 – наименьший, позволяет коррелировать данные ADS-B на экране полета и добавляет воздушную скорость и заголовок;
- трек 2 – реальный трек, коррелированный с планом полета, содержащим наземную скорость и угол курса;
- трек 3 содержит две 3D-позиции как простые точки изменения траектории;
- полный трек с защищенным профилем из 20 позиций 4D.

Экипаж ВС может запросить план полета соседнего ВС. План содержит идентификатор полета (flight ID), информацию о ВС (модель, компания, тип полета ИКАО), информацию об убытии (аэропорт убытия – ATD) и о прибытии (аэропорт прибытия – ETA), требуемую высоту полета (FL), скорость круиза. Маршрут не добавляется, поскольку TIS-C позволяет запросить защищенный профиль.

Общий размер плана полета (FP) составляет 56 октетов. Экипаж полета может также принять информацию о конфликтах средней срочности (medium term conflict detection – MTCD). В простом режиме для ВС передаются только геометрические конфликты: идентификатор обна-

ружения конфликта средней срочности (medium term conflict detection ID – MTCDID), время ближайшей точки подхода (time of Closest Point of Approach – CPA), идентификатор полета, 3D-позиция собственного старта конфликта, собственная ближайшая точка подхода (CPA), 3D-позиция другого конца конфликта. Таким образом, это 150 октетов для одного конфликта, но могут быть и несколько конфликтов на одно воздушное судно. В расширенном режиме обнаружения конфликта средней срочности (extended MTCD-mode) дополнительная траекторная информация передается для n ВС, находящихся в зоне конфликта. Траектории могут быть оптимизированы как 3D-траектории с одной позицией на минуту вперед плюс одной 4D-позицией в момент ближайшей точки сближения, т.е. $20 \times 22 + 1 \times 30 = 470$ (октетов) на траекторию.

Сценарии и результаты моделирования концепции TIS-C на базе режима VDL-2. Валидация концепции TIS-C на базе режима VDL-2 была проведена исследователями Евроконтроля на имитаторе технологий авиационной связи ACTS версии 1.5 Beta [3, 6, 7]. Он обеспечивает разные установки многих основных и специфических системных параметров: модель распространения сигнала, которая является специфической для каждой частотной полосы; параметры физического канала, такие как мощность передатчика, потери в фидере, усиление антенны, коэффициент шума и т.п.; параметры уровня управления доступом к среде и параметры уровня линии данных. ACTS может имитировать работу множества наземных станций и эффекты, которые имеют место в телекоммуникационных каналах при разных условиях.

Приложения ситуационного предупреждения. Приложение TIS-B обеспечивает широкополосное вещание информации о воздушном движении с Земли для всех ВС в заданной зоне обслуживания наземной станции. Приложение TIS-C не является широкополосным, но может быть использовано для одноадресной (целевой «точка-точка») линии «Земля-Воздух» (uplink) и соседних полетов. Моделировались пять основных сценариев приложения ситуационного предупреждения на базе VDL-2:

1. Передача 3D-позиций для пяти ВС за 5 с. Каждый целевой получатель uplink-сообщения принимает простую 3D-позицию (26 октетов) для пяти соседних ВС за 5 с.

2. Передача 3D-позиций для десяти ВС за 5 с. Каждый целевой получатель uplink-сообщения принимает простую 3D-позицию (26 октетов) для десяти соседних ВС за 5 с.

3. Передача 4D-позиций для трех ВС за 3 с. Каждый целевой получатель uplink-сообщения принимает 4D-позицию (34 октета) для трех соседних ВС за 3 с.

4. Передача трека 1 для трех ВС за 3 с. Каждый целевой получатель uplink-сообщения принимает трек 1 (42 октета) для трех соседних ВС за 3 с.

5. Передача трека 2 для трех ВС за 3 с. Каждый целевой получатель uplink-сообщения принимает трек 2 (63 октета) для трех соседних ВС за 3 с.

Длинные интервалы обновления (5 с) вводятся для моделирования среды на маршруте для процедур ASAS и интенсивного ситуационного предупреждения, короткие интервалы обновления (3 с) – для моделирования среды зоны терминального маневрирования (ТМА) (на подходе), требующей изменений информации о векторах полета.

Результаты моделирования работы приложений ситуационного предупреждения на имитаторе ACTS Евроконтроля включают процент успеха, реальную загрузку канала, пропускную способность сети, максимальную полную задержку (мс) передачи пакета.

Моделирование работы приложения пространственного разнесения. Приложение пространственного разнесения (Spacing Applications) или «захватывает» и поддерживает одно ВС (после другого ВС) в случае поддержки станции (Station-Keeping), или присоединяет одно ВС к другому внутри существующей последовательности ВС в случае объединения трафика (Traffic-Merging). На имитаторе Евроконтроля моделировались шесть основных сценариев работы приложения пространственного разнесения на базе режима VDL-2:

1. Поддержка станции на 15 с. Каждый целевой приемник получает полный трек (63 октета) одного соседнего ВС с интервалом 15 с.

2. Поддержка станции на 5 с. Каждый целевой приемник получает полный трек (63 октета) одного соседнего ВС с интервалом 5 с.

3. Поддержка станции на 3 с. Каждый целевой приемник получает полный трек (63 октета) одного соседнего ВС с интервалом 3 с.

4. Объединение трафика на 15 с. Каждый целевой приемник получает полный трек (63 октета) одного соседнего ВС с интервалом 15 с и дополни-

тельный полный трек (63 октета) для второго соседнего ВС при половинной скорости обновления, т.е. с интервалом 30 с.

5. Объединение трафика на 5 с. Каждый целевой приемник получает полный трек (63 октета) одного соседнего ВС с интервалом 5 с и дополнительный полный трек (63 октета) для второго соседнего ВС при половинной скорости обновления, т.е. с интервалом 10 с.

6. Объединение трафика на 3 с. Каждый целевой приемник получает полный трек (63 октета) одного соседнего ВС с интервалом 3 с и дополнительный полный трек (63 октета) для второго соседнего ВС при половинной скорости обновления, т.е. с интервалом 6 с.

Длинные интервалы обновления поддерживают ситуационное предупреждение, короткие – совместные маневры, очень короткие – используются для уменьшения горизонтального разнесения в зонах ТМА маневра и подхода к аэропорту. Приложение поддержки станции передает расстояние между треками ВС, объединение трафика – расстояние между треками ВС и добавляет трек следующего ВС на половинной скорости обновления. В ходе моделирования приложений «Поддержка станции» и «Объединение трафика» собиралась статистика долей успеха, пропускной способности сети, реальной загрузки канала и максимальной полной задержки передачи пакета.

Моделирование работы приложений разделения. На имитаторе режима VDL-2 Евроконтроля моделировалось четыре типа приложений разделения:

1. Приложение «Простое обнаружение среднесрочного конфликта (Media Term Conflict Detection – MTCD)» должно поддерживать приложения ASAS, формируя категории разделения и саморазделения. Оно помогает диспетчеру и обоим экипажам иметь общий обзор конфликтной ситуации. Приложение TIS-C определено для передачи вверх (uplink) с помощью VDL-2 полной геометрии конфликта, вместе с прогнозируемыми траекториями для ВС в зоне конфликта. Частота конфликтов установлена в значение одного конфликта на наземную станцию в минуту. Каждый целевой получатель uplink-сообщения принимает сообщение MTCD (150 октетов), количество целевых получателей соответствует количеству передач «вверх» в минуту в зоне наземной станции (от 10 до 100 с шагом 10).

2. Приложение «Расширенное MTCD (Extended MTCD)», как определено выше, передает с помощью VDL-2 сообщение MTCD для экипажа и дополнительно – прогнозируемую траекторию трех самых ближних ВС на момент ближайшей точки подхода. Каждый целевой получатель принимает MTCD плюс три траектории (150 + 3×470 = 1560 октетов). Количество получателей uplink соответствует количеству передач «вверх» в минуту. Информация делится на два пакета в минуту, каждый по 780 октетов.

3. Приложение «Согласование траектории (Trajectory Negotiation – TN)», близкое к услугам COTRAS, предполагает, что ВС передает вниз свой план полета, содержащий защищенный профиль 4D, один раз при входе в новый сектор полета и получает одну коррекцию плана полета на сектор, т.е. одну uplink-передачу согласования траектории. Реальное согласование не предполагается; все принятые с Земли траектории являются для борта ясными и квитируемы. Для удобства траектория выбирается такой, чтобы быть полным треком (663 октета), интенсивность передач с наземной станции режима VDL-2 (uplink) равна одному сообщению в минуту, интенсивность потока с борта (downlink) – 0,1 сообщения в минуту.

4. Приложение «Обнаружение и разрешение конфликта «Воздух-Воздух» (Conflict Detection and Resolution – CD&R)» предполагает, что после обнаружения среднесрочного конфликта MTCD Земли два конфликтующих ВС должны принять от Земли сообщение MTCD и три плана полета соседних ВС, а затем дважды обменяться своими траекториями друг с другом. При этом наземный сервер TIS-C действует как ретранслятор, т.е. передает четыре uplink-сообщения о траектории после приема четырех downlink-сообщений о траекториях от двух бортов. Конфликты имеют место один раз в минуту в зоне наземной станции. Интенсивность передачи: информация объемом $2 \times 780 + 4 \times 470 = 3440$ октетов, приблизительно 870 октетов с борта (downlink) и три раза по 870 октетов с Земли (uplink) в минуту на получателя.

Результаты моделирования TIS-C на базе VDL-2. Исследование показало, что все приложения могут быть поддержаны для 20 ВС в зоне наземной станции с почти 100%-ной вероятностью успеха и очень хорошими задержками.

50 ВС могут быть поддержаны для пяти позиций за 5 с, для трех 4D-позиций ВС – за 3 с, для трех треков одного ВС – за 3 с, для всех приложений пространственного разнесения, а также для MTCD (обнаружение конфликта средней срочности), MTCD с тремя планами полета и согласованием траектории. 100 ВС могут быть обслужены, но не в части приложения ситуационного предупреждения, а посредством приложения пространственного разнесения на интервале 15 с, а также приложения разделения MTCD и траекторного согласования.

Таким образом, результаты, за исключением ситуационного предупреждения, являются более чем достаточными для рабочего использования, т.е. в высшей степени невероятно, чтобы 100 ВС попали в один конфликт с обменом траекториями раз в минуту. Здесь моделирование просто показывает границы системы без рабочей достаточности.

Максимальная полная задержка растёт с увеличением количества целевых приемников uplink. Это означает, что сообщения принимаются с задержкой, опасной для критичной к показателю времени информации. Поэтому архитектура ВС должна включать следящее устройство, которое в случае старения информации будет использоваться для лучшего прогнозирования текущей позиции соседнего ВС.

Заключение. Из результатов моделирования следует, что реализация приложения TIS-C на базе системы связи режима VDL-2 возможна. Все приложения ASAS могут быть реализованы с использованием VDL-2, при этом удовлетворяя рабочим требованиям. Ограничения будут иметь место лишь для полных приложений ситуационного предупреждения.

Корректный режим работы должен использоваться для доставки ситуационного предупреждения только по событию для ограниченного количества ВС в заданном объеме.

Ситуационное предупреждение соседнего ВС будет более эффективным, если его реализовать посредством передачи с Земли прогнозируемой траектории, чем с помощью частого широковещания картины воздушной ситуации. Использование других возможностей для ситуационного предупреждения через TIS-C будет работать в режиме вспомогательной РЛС, т.е. только когда несколько ВС принимают информацию соседней позиции.

Такая оценка является основным аргументом в поддержку концепции TIS-C. Результаты вдохновляют. Главное предположение, что TIS-C может заменить TIS-B и работать на базе VDL-2, оказалось корректным. Некоторые сценарии моделирования, особенно для обнаружения конфликта и его разрешения, невозможны с TIS-B. Сообщество ASAS облеглочно воздохнуло, убедившись в том, что можно построить свои приложения, используя только расширенный сквиттер режима S (Mode-S Extended Squitter) или VDL-4 для приложения ADS-B и режим VDL-2 для приложения TIS-C, т.е. доступную и готовую к использованию технологию. Это делает общую концепцию много дешевле и поможет ускорить рабочее использование ASAS.

ЛИТЕРАТУРА

1. ICAO Annex 10. Приложение 10 к соглашениям ИКАО. Авиационная электросвязь. – Т. 3, ч. 1, гл. 3, б. – 2-е изд. – 2007 (с поправками 2010 г.).
2. ICAO Doc. 9816 (AN/448). Руководство по ОБЧ цифровой линии передачи данных режима VDL-4 // Ч. 1. Аспекты внедрения Руководства по ОБЧ цифровой линии передачи данных режима VDL-4; ч. 2. Детальные технические спецификации Руководства по ОБЧ цифровой линии передачи данных режима VDL-4. – 1-я ред. – ИКАО, 2004.
3. European ATN simulation: VDL Mode 2 simulation report. – EUROCONTROL, 2004.
4. Towards Co-operative ATS – The COOPATS Concept, Version 1.0, EUROCONTROL. – EATMP – AGC PROGRAMME. – EUROCONTROL, 2002.
5. Operational Requirements for Air/Ground Co-operative Air Traffic Services, AGC-ORD-01. – EUROCONTROL, 2001.
6. Ehrmantraut R., Christien R. Measures Of Aircraft Conflicts In Europe With A Simulation Model, Eurocontrol Experimental Centre Airborne Separation Assurance System. – 2004.
7. Ehrmantraut R. Возможность интеграции «Воздух-Земля»: концепция валидации информационных услуг воздушного движения контрактного режима (TIS-C) с помощью технологии VDL-2 с использованием имитатора ACTS. – EUROCONTROL R&D Centre (ERC), Brétigny sur Orge, France, Jan. 2004.
8. COCR v.2: Communications Operating Concept and Requirements for the Future Radio System. – EUROCONTROL/FAA, Tech. Rep., 2007, version 2.0.

Получено 23.04.13