

Алгоритм обмена данными по цифровой линии передачи данных «земля-борт-земля»

Самарцев Н.С.^{1*}, Колотилов Е.Д.^{1**}, Кошелев Б.В.^{2***}

¹Московский институт электромеханики и автоматики,

МИЭА, Авиационный пер., 5, Москва, 125319, Россия

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

*e-mail: samartsevnikita@gmail.com

**e-mail: edkolotilov@gmail.com

***e-mail: borisko47@yandex.ru

Аннотация

Представлен разработанный для перспективной вычислительной системы самолетовождения (ВСС) алгоритм обмена данными по цифровой линии передачи данных «земля-борт-земля». Алгоритм проиллюстрирован на примере запроса плана полета от имитатора данных блока управления радиосвязью. Для отладки разработанного алгоритма обмена разработан имитатор данных блока управления.

Ключевые слова: цифровая линия передачи данных, алгоритм обмена данными, запрос плана полета, ситуационная осведомлённость, блок управления радиосвязью, автоматизация обмена информацией.

1. Введение

В условиях непрерывно возрастающей интенсивности воздушного движения увеличивается рабочая нагрузка на диспетчерскую службу управления воздушным

движением (УВД) и на летные экипажи воздушных судов (ВС). Особо остро эта проблема проявляется в воздушном пространстве (ВП) районов аэродрома [1].

В соответствии с концепцией CNS/ATM (Communication-Navigation-Surveillance/Air Traffic Management – Связь-Навигация-Наблюдение/Организация Воздушного Движения) повышение эффективности и безопасности полетов в современной системе организации воздушного движения (ОрВД) может быть обеспечено, в частности, на основе разработки и внедрения перспективных информационных технологий и автоматизации процедур обслуживания воздушного движения (ОВД) [2, 3].

Одним из рекомендованных ИКАО (ИКАО, Международная организация гражданской авиации) направлений совершенствования в этом плане является автоматизация процесса обмена информацией между ВС и центрами ОВД. Для ее реализации современные и перспективные вычислительные системы самолетовождения (ВСС) должны обладать расширенными функциональными возможностями в части использования цифровых линий передачи данных (ЛПД) «земля-борт-земля» [4].

2. Описание обмена данными по цифровой ЛПД

Цифровые ЛПД «земля-борт-земля» являются одним из ключевых технологических элементов внедряемой системы CNS/ATM. Для организации передачи данных по цифровой ЛПД необходимо соответствующее наземное и бортовое оборудование (рис. 1): система-источник информационного обеспечения,

например, ВСС; блок управления радиосвязью (БУР); бортовые средства связи, такие как радиостанции ОВЧ или ВЧ диапазона, спутниковая станция.

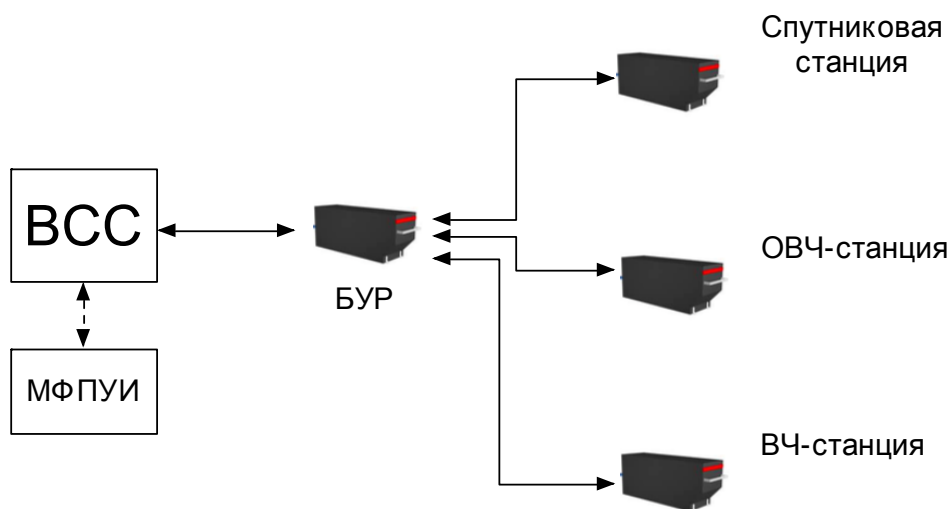


Рис. 1. Бортовое оборудование для организации передачи по цифровой ЛПД

С помощью БУР организуется двухсторонний обмен данными по соответствующему радиоканалу. Управление бортовым оборудованием осуществляется с многофункционального пульта управления и индикации (МФПУИ) ВСС.

Основные требования к функциональным характеристикам ВСС сформулированы в документах фирмы Aeronautical Radio Inc (ARINC) [5, 6]. Так, интерфейс между ВСС и БУР определен стандартом ARINC 702A-3. Перечень передаваемой информации между ВСС и БУР приведен в Приложении 1 ARINC 702A-3:

- информация о плане полета, формируемая службами УВД и авиакомпанией;
- информация о текущем местоположении ВС;

- информация о текущих параметрах движения ВС;

- дополнительная база аэронавигационных данных, сроки ее действия, информация о дополнительных аэропортах, средствах навигации, предоставленных авиакомпанией;

- информация о ветре, предоставленная авиакомпанией;

- запросы от служб УВД и служебные сообщения.

В стандарте ARINC 702A-3 описана архитектура модели взаимодействия бортового и наземного оборудования в части передачи данных по цифровой ЛПД, представленная в соответствии с моделью взаимодействия открытых систем (OSI, Open Systems Interconnection) (Рис. 2). Архитектура содержит прикладной, сетевой, канальный и физический уровни. Протоколы обмена в данной архитектуре взаимодействуют с протоколами своего уровня. Кратко дадим определение уровням модели OSI в нашей архитектуре.

Верхний уровень модели OSI - прикладной - обеспечивает взаимодействие бортового оборудования с наземным и определен стандартом ARINC 702A-3.

Сетевой уровень предназначен для определения пути передачи данных. На сетевом уровне должен использоваться бит-ориентированный протокол общего назначения, описанный в спецификации стандарта ARINC 619. Оформление файла данных осуществляется путем добавления заголовка в начало текста сообщения. Маршрутизация файла на сетевом уровне осуществляет БУР.

Канальный уровень предназначен для обеспечения взаимодействия сетей на физическом уровне и для контроля за ошибками. Взаимодействие на канальной уровне выполняется в соответствии с первой версией Вильямсбургского протокола (протокол Williamsburg — Бит-ориентированный протокол передачи файла).

Физический уровень – нижний уровень модели, который определяет метод передачи данных, представленных в двоичном виде. Физический уровень взаимодействия систем реализуется в соответствии с требованиями спецификации стандарта ARINC 429. Линия передачи от ВСС к БУР реализована в виде экранированной витой пары проводов. Передача информации в каждом направлении осуществляется последовательным двуполярным кодом со скоростью 12-14,5 кБит/с 32-х разрядными словами по ARINC 429.

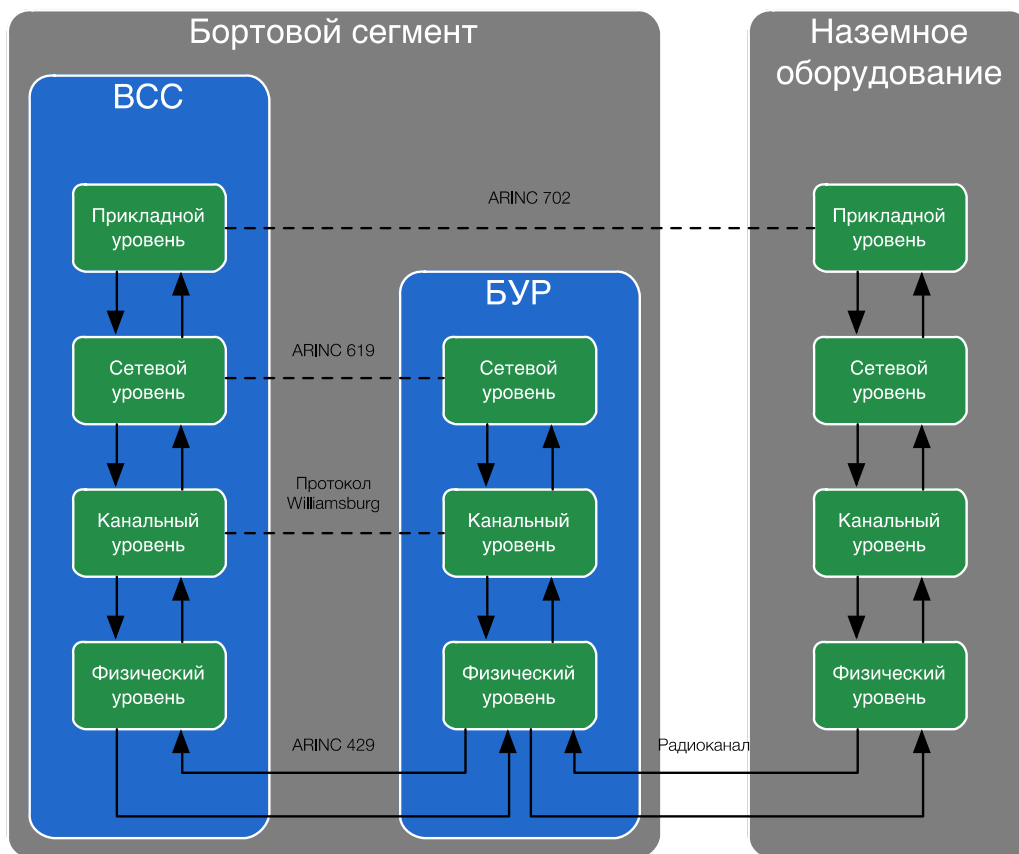


Рис. 2. Архитектура взаимодействия ВСС с наземными приложениями

Формирование файла данных осуществляется в процессе последовательной передачи сообщения с верхних уровней модели на нижний. Рассмотрим пример передачи сообщения «сверху-вниз». На прикладном уровне осуществляется формирование и разбор файлов данных в соответствии с ARINC 702A-3. Сформированный в соответствии с Приложением 1 ARINC 702A-3 файл данных передается на сетевой уровень.

На сетевом уровне осуществляется маршрутизация файла данных. К файлу данных добавляется заголовок в формате, описанном в ARINC 619. Сформированный файл данных передается на канальный уровень. Обратное, с канального уровня на сетевой, передается информация об успешной либо неудачной передаче файла данных по физической линии передачи данных.

Сформированное сообщение передается по линии передачи данных на БУР, где разбирается по соответствующим уровням и их протоколам взаимодействия. БУР осуществляет выбор радиоборудования (ОВЧ/ВЧ-радиостанции, спутниковая станция) по заложенной в нем логике для последующей отправки сообщения на землю.

Сообщение, принятое с земли, после обработки в БУР, передается в ВСС, в которой соответствующим образом обрабатывается с помощью программного обеспечения (ПО) ВСС. Обработка сообщений «земля-борт» будет рассмотрена далее.

3. Блок-схема алгоритма обмена данными

В плане работ по созданию программно-алгоритмического обеспечения ВСС для реализации цифровой ЛПД «земля-борт-земля» в АО МИЭА разработан алгоритм обмена данными плана полета между наземным и бортовым оборудованием [7].

Разработанный алгоритм можно разделить на два основных модуля:

- модуль обработки сообщений «земля-борт»;
- модуль формирования сообщений.

Блок-схема алгоритма (рис. 5) показывает процесс передачи информации в рамках прикладного уровня.

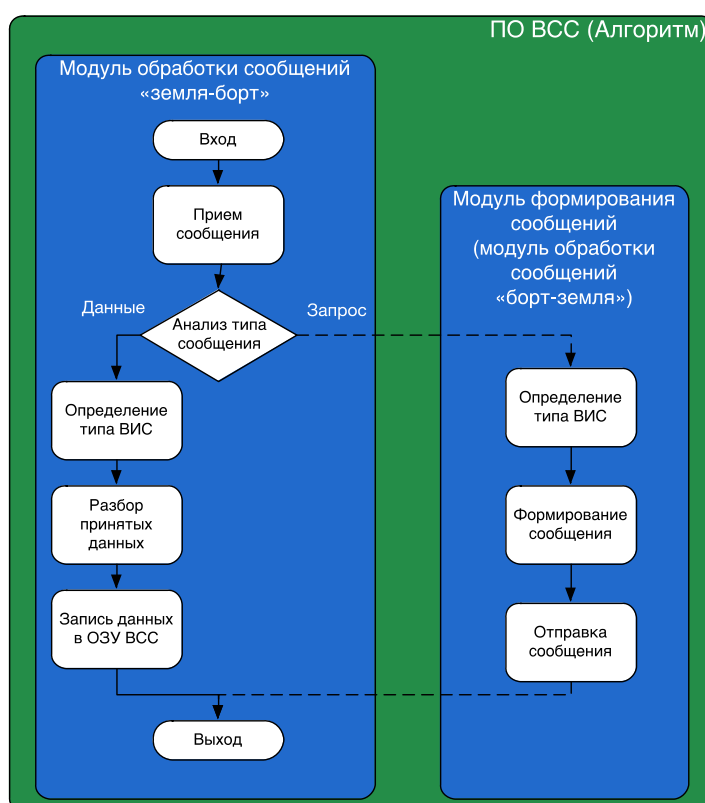


Рис. 5. Блок-схема алгоритма обмена данными плана полета

Модуль обработки сообщений «земля-борт»

В блоке «Прием сообщения» осуществляется передача сообщения на прикладной уровень после прохождения сообщением физического, канального и сетевого уровней.

В блоке «Определение типа сообщения» анализируется тип принятого сообщения, т. е. запрос или данные.

В случае если пришло сообщение с данными, необходимо: определить тип встроенного идентификатора сообщения (ВИС), затем разобрать принятые данные в буфер и записать данные из буфера в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) ВСС для последующей индикации на дисплее МФПУИ.

В случае если пришел запрос, необходимо определить ВИС и все встроенные идентификаторы элемента (ВИЭ) из запроса. Затем сформировать и отправить сообщение в соответствии со считанными идентификаторами.

Модуль формирования сообщений

В блоке «Определение типа ВИС» определяется ВИС, для которого будут формироваться данные.

В блоке «Формирование сообщения» осуществляется процесс чтения ОЗУ ВСС и формирование строки с имеющимися в ОЗУ данными для выбранного ВИС.

В блоке «Отправка сообщения» сформированное сообщение отправляется на сетевой уровень.

Помимо этого, *Модуль формирования сообщения* одновременно выполняет функции *модуля обработки сообщений «борт-земля»*.

4. Программная реализация алгоритма

Для автоматизации процесса обмена данными «борт-земля-борт» в рамках ПО ВСС возникла необходимость программная реализации алгоритма обмена данными плана полета, позволяющего принимать, отправлять и обрабатывать сообщения.

В результате доработки ПО ВСС организовано взаимодействие алгоритма с модулями ПО ВСС, отвечающими за реализацию протокола обмена с БУР, с модулем «пультовой задачи», обрабатывающим команды, вводимые экипажем на пульте ввода, и с модулем «плана полета», который обеспечивает формирование и модификацию плана полета.

Для отладки алгоритма разработана программа, позволяющая формировать сообщения, направляемые к ВСС (на борт). Программа выполняет функцию имитатора данных БУР. При взаимодействии с ВСС имитатор кодирует файлы данных в формате по бит-ориентированному протоколу общего назначения, описанному в ARINC 619.

На рисунке 6 показано взаимодействие программ на примере запроса плана полета.

Кадр МФПУИ

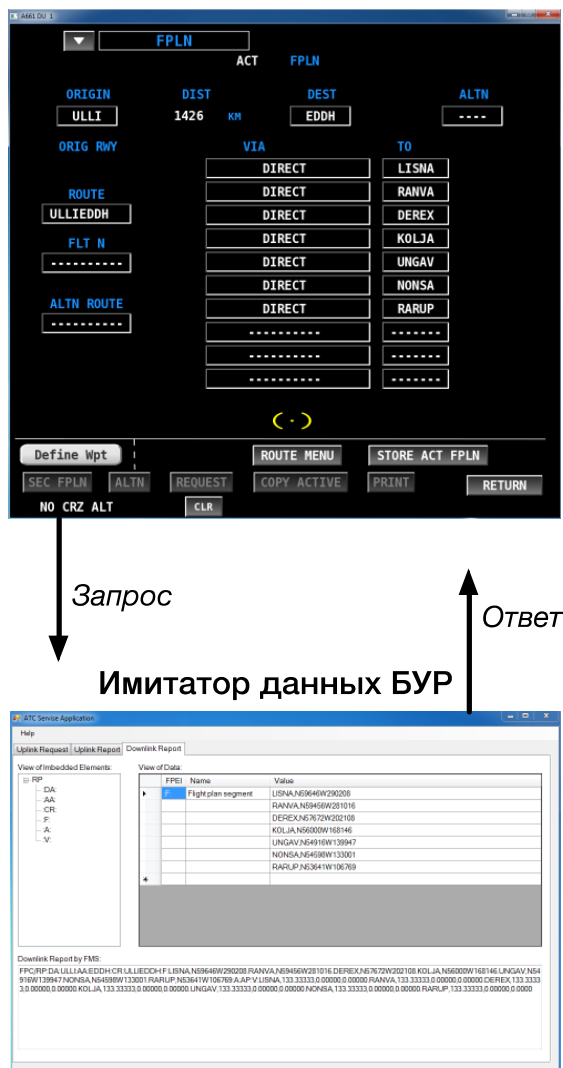


Рис. 6. Окна программной реализации взаимодействия ВСС и имитатора данных БУР

Имитатором был сформирован запрос информации о плане полета. Запрос был закодирован в соответствии с ARINC 619. ВСС обработала его в соответствии с соответствующими протоколами и сформировала ответ на запрос. Сформированное сообщение можно видеть в специализированном окне программы.

Все сообщения с земли на борт и с борта на землю форматируются с использованием соответствующего набора синтаксических правил описанных в

ARINC 702A-3. Для описания частей сообщения используются следующие определения.

Встроенный идентификатор сообщения (ВИС) представляет собой трехсимвольный алфавитно-цифровой идентификатор. ВИС размещается в начале текста, чтобы идентифицировать соответствующее содержание сообщения. Для одного сообщения используется только один ВИС.

Встроенный идентификатор элемента (ВИЭ) представляет собой двухсимвольный алфавитный идентификатор, который используется для группы из одного или более символов.

ЭЛЕМЕНТ представляет собой наименьшую часть сообщения и содержит данные.

На рисунках 7, 8 представлены краткие перечни сообщений на борт и борта на землю, описанные в ARINC 702A-3, реализованные на данном этапе работ для представленного алгоритма. Опишем содержание ВИС и ВИЭ для сообщений на борт.

На рисунке 7 приведены ВИС, такие как FPN (информация о плане полета), PER (данные о начальных значениях летно-технических характеристик, обеспечивается авиакомпанией), POS (автоматическое сообщение о местоположении ВС, обеспечивается авиакомпанией), REQ (содержит типы запросов данных, предоставляемой авиакомпанией).

Представлены также ВИЭ, такие как RP (активный маршрут), RI (неактивный маршрут), RM (модификация маршрута), FN (номер рейса), RA (альтернативный активный/неактивный. маршрут), MW (данные о среднем значении ветра), SN (последовательный номер сообщения), PD (данные о начальных значениях характеристик), RF (фиксированная точка сообщения о местоположении).

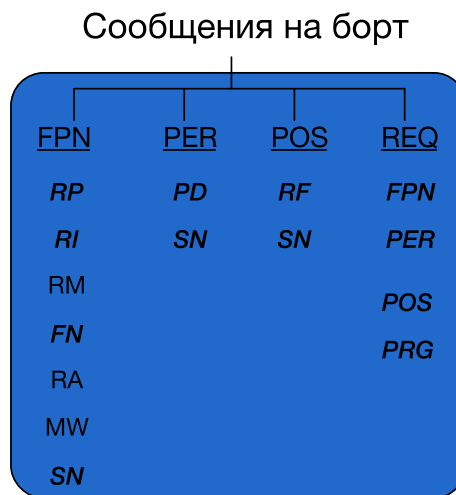


Рис. 7. Перечень сообщений по ЛПД «земля-борт»

Сообщения с борта на землю могут быть в виде докладов и запросов. Доклады могут быть о FPN (отчет, предоставляемый для служб УВД о плане полета), PER (отчет, подготовленный авиакомпанией о начальных значениях летно-технических характеристик), POS (отчет о текущем местоположении, подготовленный авиакомпанией), PRG (данные о промежуточном отчете для авиакомпании по запросу). Запросы могут быть о FPN, PER.

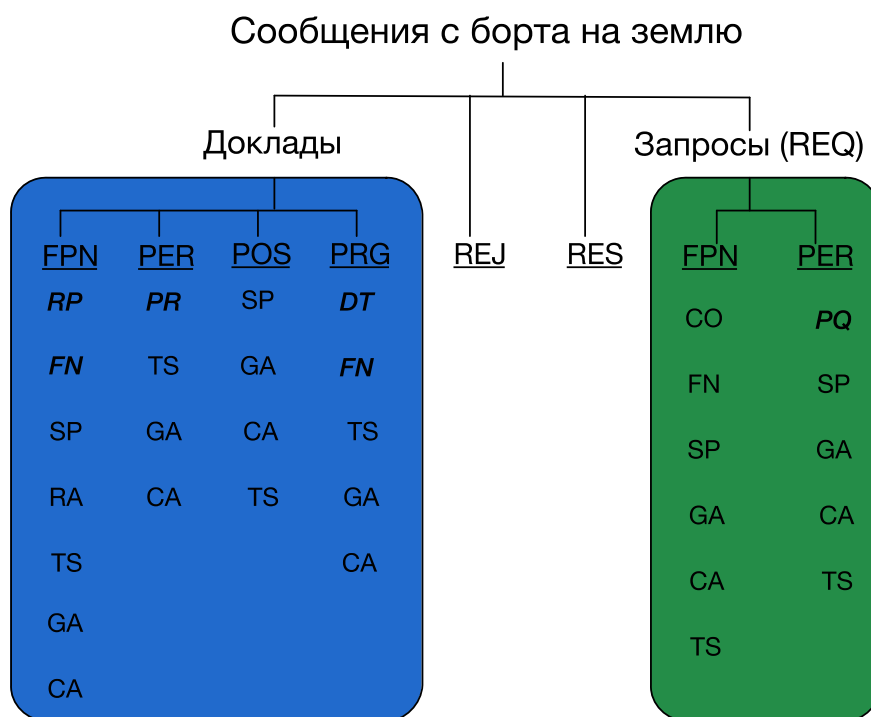


Рис. 8. Перечень сообщений по ЛПД «борт-земля»

Представленные на рис. 7, 8 перечни сообщений содержат всю необходимую информацию для обеспечения безопасного полета (например, информация о плане полета; информация о текущих параметрах движения; местоположении ВС; метеоданные; служебные сообщения и др.). Курсивом выделены наиболее часто используемые элементы, например элемент FN обозначает номер рейса (Flight Number). В большинстве обозначений элементов обозначение элемента, как правило, является акронимом от его наименования.

Заключение

В данной работе представлена общая структура процесса обмена данными по цифровой линии передачи данных для организации обмена информацией между ВС и центрами УВД.

В рамках данной работы разработаны:

1. Алгоритм обмена информацией плана полета по цифровой ЛПД «земля-борт-земля» выполненный в виде модуля ПО ВСС, который представляет собой законченный универсальный модуль, что позволяет обеспечить его легкую интеграцию в архитектуру ПО других пилотажно-навигационных комплексов;

2. Имитатор данных блока управления радиосвязью для отладки разработанного алгоритма.

Алгоритм успешно апробирован на стенде полунатурного моделирования. В дальнейшем планируется его доработка и совершенствование.

Все работы были выполнены с учетом нормативных документов по организации взаимодействия ВСС с цифровой ЛПД.

Можно полагать, что автоматизация обмена рутинными сообщениями, такими как план полета, местоположение, текущие параметры движения ВС, положительно скажется на ситуационной осведомленности диспетчера в зоне его обслуживания и снизит рабочую нагрузку диспетчера и экипажа ВС.

Библиографический список

1. Филонова А.А. Метод оценки влияния топологии SID/STAR на пропускную способность аэропорта // Труды МАИ. 2016. № 86. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=65604>

2. Global Air Navigation Plan. Doc. 9750-AN/963. – Montreal: ICAO, 2013. - 192 p.
3. Зобов Н.Ф., Кошелев Б.В. Проблемы развития и внедрения аэронавигационной системы будущего. – М.: Изд-во МАИ, 2003. – 250 с.
4. Manual of Air Traffic Services Data Link Applications. Doc. 9694-AN/995. – Montreal: ICAO, 1999. - 212 p.
5. ARINC Report 660A CNS/ATM Avionics Functional Allocation and Recommended Architectures. - Annapolis, Maryland, USA: Aeronautical Radio, 2001.
6. ARINC Characteristic 702A-3 Advanced Flight Management Computer System. – Annapolis, Maryland, USA: Aeronautical Radio, 2006. - 216 p.
7. Самарцев Н.С., Колотилов Е.Д., Кошелев Б.В. Унифицированный алгоритм обмена информацией по цифровой линии передачи данных «земля-воздух-земля» // XXV Международная научно-техническая конференция "Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации", Алушта 14-20 сентября 2016: сборник трудов. - М.: Технология, 2016. С. 198.