УДК 629.73

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АЭРОНАВИГАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАВИГАЦИИ С ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ

А.М. ПАШАЕВ*, И.А. ИСКЕНДЕРОВ*, С.М. КЕРИМОВ*

В статье рассматриваются особенности методов и средств традиционной аэронавигации, проблемы реализации полетов с использованием традиционной навигации в современных условиях и возможности разработки и применения системы навигации с дополненной реальностью, предлагается структура такой системы.

Ключевые слова: *зональная навигация, радионавигационные системы, средства визуализации, воздушное движение, дополненная реальность, контроль полетов.*

Введение. В настоящее время в гражданской авиации (ГА) все еще широко используется традиционная навигация, которая реализуется с применением радионавигационных систем и является основой авиации. Эффективность воздушной навигации, основанной на радионавигации, сильно зависит от показателей и возможностей наземной радионавигационной аппаратуры. Современные радионавигационные системы обладают гибкостью и широкими функциональными возможностями. Квалифицированные авиаспециалисты достаточно хорошо знакомы с технологией воздушной навигации и возможностями авионики современных воздушных судов (ВС). Помимо некоторых более сложных операций, конкретные оперативные действия не являются необходимыми.

Эффективность полетов в настоящее время обеспечивается зональной навигацией (Area Navigation - RNAV), и хотя различные методы радионавигации существуют давно, использование RNAV еще не достигло уровня общего использования в авиации [1]. Концепция навигации, основанная на возможностях RNAV, призвана более точно определить использование RNAV систем и предоставить средства для достижения аналогичного уровня общего использования. Однако до тех пор, пока не будет обеспечена общая стандартизация летательных аппаратов, оперативных процедур, подготовки кадров и т.д., необходимо будет провести оперативный процесс утверждения.

Смешивание графических представлений и реальных объектов в представлении пользователя окружающей среды дает мощную метафору для передачи информации об этой

* Национальная Академия Авиации Азербайджана

среде. Существующие методы и средства визуализации данных сосредоточены на изобретении средств, позволяющих человеку производить быструю и эффективную обработку большого объема данных. Одним из наиболее перспективных способов совершенствования нынешних методов визуализации данных является обеспечение визуализации с дополненной реальностью (AR-Augmented Reality), которая подходит для ограниченных возможностей людей в плане восприятия и обычно является интерактивной.

Целью данной работы является анализ возможностей разработки и использования методов и средств навигации с дополненной реальностью (AR) и исследование эффективности применения такой системы.

1. Принципы и методы современной воздушной навигации

Основные принципы современной воздушной навигации идентичны общим навигационным принципам, включая процессы планирования, регистрации и контролирования перемещения судна из одного места в другое [2]. Успешная воздушная навигация включает в себя практическую реализацию перемещения летательного аппарата без потери, без нарушения законов, применяемых к полетам летательных аппаратов и без угроз безопасности лиц, находящихся на борту или на местах. Воздушная навигация ВС отличается от движения наземных судов и транспортных средств несколькими особенностями, а именно: полеты ВС на относительно высоких скоростях ограничивают время расчета их позиции по маршруту; безопасность полета ограничивается количеством топлива, которое могут нести ВС. Поэтому важное значение для пилотов летательных аппаратов имеет наличие полной текущей информации о позиции.

Методы, используемые для пилотирования ВС, зависят от того, в соответствии с какими правилами выполняются полеты: правилами визуального полета (ПВП) или правилами полета прибора (ППП). В случае ППП пилот осуществляет навигацию с использованием приборов и радионавигационных средств, таких как радиомаяки, или в соответствии с радиолокационными системами контроля за воздушным движением.

1.1. Использование правил визуального полета (ПВП).

В случае использования ПВП пилот должен лететь с использованием методики счисления пути в сочетании с визуальными наблюдениями (известными как пилотирование) со ссылкой на соответствующие карты. Минимальные погодные условия по высоте полета и дальности видимости для ПВП полетов регулируются авиационным законодательством и варьируются в зависимости от типа воздушного пространства, в котором летит самолет, и от того, проводится ли полет в дневное или ночное время. Вместе с тем обычно для ПВП минимальное расстояние видимости в дневное время составляет 3 мили полета и расстояние ниже кромки облаков 500 футов, 1000 футов выше и 2 000 футов по горизонтали.

Основным из всех методов навигации при ПВП является штурманское управление. В этом случае полет выполняется визуально, карты ПВП помечаются множеством обозначений, которые помогают находить ориентиры (объекты) на земле и сопоставлять их с картой.

При исчислении полета используются некоторые простые инструменты и математика, чтобы вычислить основные навигационные параметры полета ВС. Счисление полета (часто называемое DR - ded-reckoning) - это методика вычисления позиции за счет измерения скорости и времени [3]. Это средство навигации используется при отсутствии коррекции позиции и состоит в вычислении географического положения (координат z_i) транспортного

средства путем экстраполяции (интеграции) рассчитанной или измеренной путевой скорости. Даже несмотря на то, что приемники GPS на борту современных ВС дают коррекцию координат, навигационное исчисление полета все еще является базисом каждого навигационного компьютера и особенно важно в условиях полета по ПВП. В своей простейшей форме, пренебрегая ветром, навигационное счисление может рассчитать проекцию положения транспортного средства на поверхность земли посредством измерений путевой скорости и истинного курса полета (рис.1):

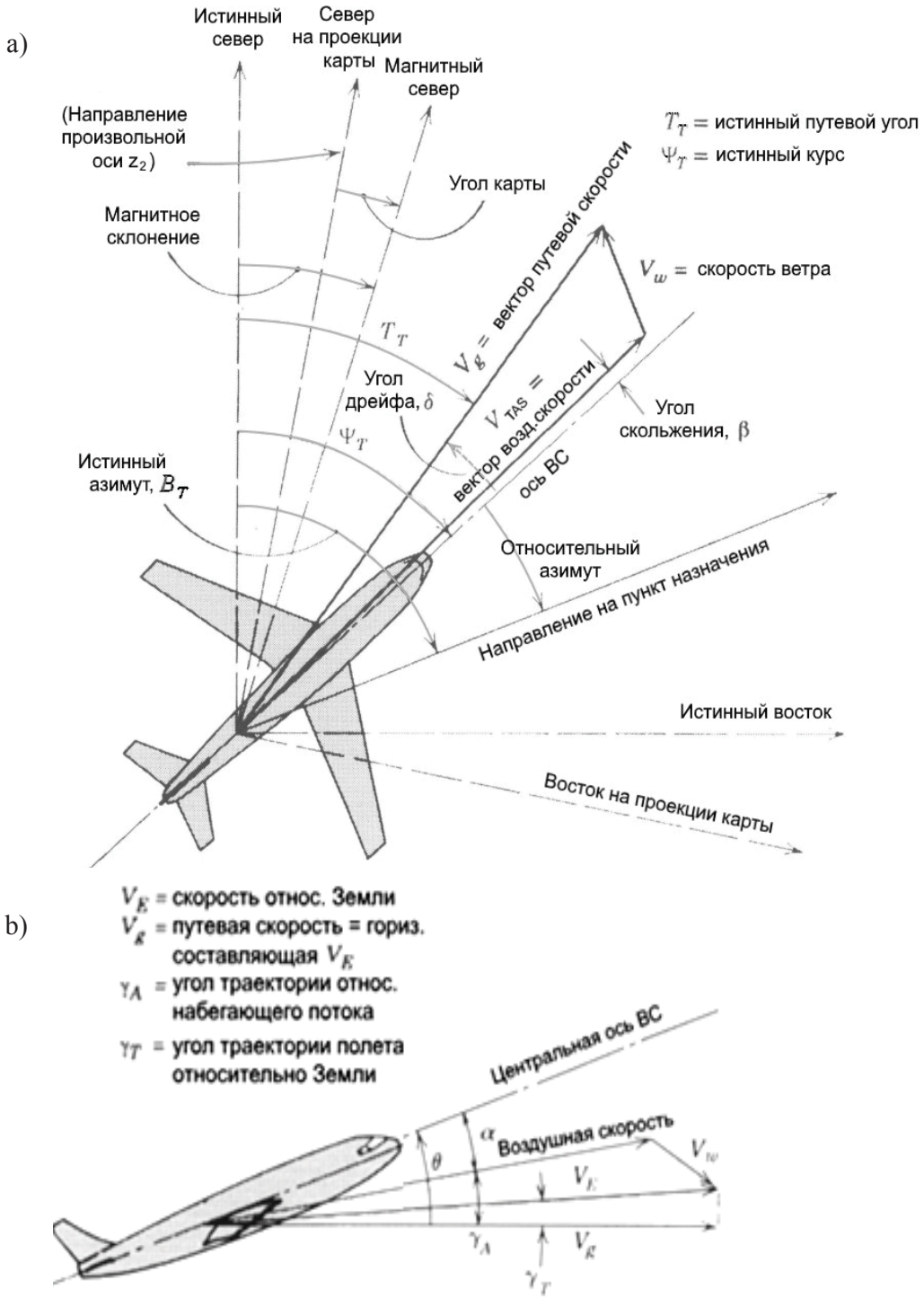

Рис. 1. Геометрические показатели полета при навигационном исчислении

$$V_{north} = V_{TAS}\cos(\theta - \alpha)\cos(\Psi_T + \beta) + V_{w-north}, \qquad y - y_0 = \int_0^t V_{north}dt$$

$$V_{east} = V_{TAS}\cos(\theta - \alpha)\sin(\Psi_T + \beta) + V_{w-east}, \qquad x - x_0 = \int_0^t V_{east}dt$$

где x-x_0 и y-y_0 - расстояния между Востоком и Севером, пройденные в течение интервала измерения.

Штурманы и пилоты, использующие исчисление, учитывают факторы, касающиеся самолета: высоту, скорость воздушного потока, курс, скорость сжигания топлива, отклонение компаса и совмещение их с факторами, связанными с окружающей средой; скорость и направление ветра, температуру воздуха, магнитные вариации. Из этих вычислений пилот может рассчитать, сколько времени займет каждый пункт, пролетающий курс, скорректированный на прогнозируемые ветры и локальное магнитное отклонение.

На реальных самолетах также учитываются ошибки компаса, которые вызваны магнитным полем самолета и работой авиационного электронного оборудования. Они помечены на маленькой карточке вблизи магнитного компаса.

Использование правил полета по приборам (ППП).

Когда эксплуатация летательного аппарата с использованием ПВП становится небезопасной ввиду отсутствия видимости визуальных ориентиров вне воздушного судна из-за погодных условий или темноты, должны использоваться правила полетов по приборам (ППП). ППП разрешают летательным аппаратам действовать в метеорологических условиях, по существу являющихся любыми погодными условиями, при которых самолеты могут эксплуатироваться беспрепятственно. Для полетов в воздушном пространстве "класса А", независимо от погодных условий, также требуется использовать правила полетов по приборам [4]. Воздушное пространство класса А простирается в пределах высот от 18 000 футов до 60 000 футов относительно уровня моря [5]. Полет в воздушном пространстве класса А требует, чтобы ВС были оснащены соответствующим оборудованием (рис.2.) и пилоты действовали в соответствии с ППП. Во многих странах коммерческие авиалинии и их пилоты должны действовать по ППП, поскольку большинство полетов совершается в воздушном пространстве класса А. Однако самолеты коммерческих авиалиний должны экс-

Рис.2. Обобщенная структурная схема навигационной системы ВС для обеспечения ППП

плуатироваться под ППП даже в том случае, если план полета не принимает судно в воздушное пространство, например с меньшими региональными рейсами [6].

Пилотажные приборы должны тщательно оценивать погоду, создавать очень подробный план полета, основанный на том, что в конкретном документе отправляются промежуточные маршруты, процедуры прибытия и отбытия рейса.

2. Использование авиационных карт.

Используя авиационные карты, предназначенные для оказания помощи в самолетовождении, и другие инструменты, пилоты могут определить местоположение, безопасную высоту, наилучший маршрут к месту назначения, навигационные средства по дороге, альтернативные районы высадки в случае экстренной аварийной ситуации, а также другую полезную информацию, например границы воздушного пространства.

Конкретные карты используются для каждого этапа полета и могут варьироваться от карты конкретного объекта аэропорта до обзорных маршрутов, охватывающих весь континент (например, глобальных навигационных карт), и многих типов между ними.

Карты визуальных полетов классифицируются по их шкале, которая пропорциональна размеру области, охватываемой одной картой. Объем детализации обязательно уменьшается при представлении на карте больших площадей.

• Всемирная авиационная карта GAM (Global Aviation Map) имеет шкалу 1:1000000 и охватывает относительно большие площади. За пределами GAM покрытия могут использоваться оперативные навигационные карты (ОНК). Они используют тот же масштаб, что и GAM, но не имеют какой-либо полезной информации, такой как ограничения на воздушное пространство.

• Карты, как правило, охватывают общую площадь примерно 340 x 340 миль, напечатанную на обеих сторонах карты. Масштаб 1:500000.

• ППП диаграммы с областями терминалов с масштабом и охватом, подходящими для общего района большого аэропорта (1:250000). Они могут изображать предпочтительные ППП маршруты полетов в районах перегруженного воздушного пространства.

Использование наземных радиомаяков.

Двустороннее взаимодействие возможно в том случае, если ВС оборудовано соответствующими устройствами для работы с наземными маяками. Радиомаяки позволяют исключить потребность в визуальных ориентирах и делают возможным навигацию по ночам и на больших высотах.

2.1.1. Автоматический радиокомпас(ADF) / Приводной радиомаяк (NDB)

Приводной радиомаяк (NDB – Nondirectional Beacon) является одним из самых первых наземных радиомаяков, используемых для целей гражданской авиации. Фактически любая вещательная радиостанция также выполняет функцию NDB. Типичные частоты NDB находятся в диапазоне средних волн с амплитудной модуляцией (530 кГц до 1700 кГц), но во время планирования полета можно воспользоваться NDB за пределами этого диапазона.

NDB чувствителен к воздействию погодных и наземных факторов. Его радиоизлучения могут быть отражены и искажены, что делает систему менее надежной. В качестве инструмента для измерения расстояния NDB не подходит. Но подобные маяки достаточно надежны, если их использовать для навигации "от точки к точке". С другой стороны, затра-

ты на подобные системы как на борту, так и на земле минимальны. Таким образом, можно сказать, что:

- Стационарная наземная станция обеспечивает базовую информацию, т.е. "направление на".
- Ввиду дешевизны приводные радиомаяки более распространены, но менее точны по сравнению с другими методами.
- Самолет может использовать сигнал для "привода" на станцию.

Маяк низкочастотного радиовещания - это направленный маяк, который работает с частотой 190 до 535 кГц. Во всем мире существует множество NDB радиомаяков в этом диапазоне, но они не функционируют как станции низкочастотного диапазона радио (LFR), также известного как радиодиапазон с четырьмя курсами. Данный диапазон волн характеризуется отражением в атмосферных слоях, но отраженные сигналы являются очень ненадежными для навигации.

2.1.2. Всенаправленный радиомаяк ОВЧ диапазона (VOR – Very High Frequency Omnidirectional Range).

Всенаправленный радиомаяк ОВЧ диапазона (VOR) является радиомаяком, который передает специальный сигнал, позволяющий бортовому оборудованию вычислить радиал маяка. Линия на маяк называется радиальной. VOR использует частоты в диапазоне частот ОВЧ-диапазона, использует каналы с частотой из диапазона 108,0 МГц - 117,95 МГц. Каналы распределены с интервалом 0,05 МГц (поэтому 115,00; 115,05; 115,10 и т. д.). Диапазон частот 108... 112МГц используется также системой посадки ILS. Для различения между каналами в этом диапазоне используется фактор четности первой цифры после разделителя целой части частоты – так, частоты ILS имеют нечетную первую цифру 108,1, 108,15, 108,3, 108,35 МГц и т.д. VOR станция чаще всего используется также для передачи дополнительной аэродромной информации. Всенаправленный сигнал подвергается модуляции для передачи идентификационного кода Морзе. Помимо этого, комплексный сигнал VOR содержит амплитудномодулированный сигнал, который может использоваться для голосовой связи или информации ATIS (Automatic Terminal Information Service – служба автоматической передачи информации в районе аэродрома). Для передачи угловой информации используют частотную модуляцию, содержащую информацию о разности фаз в соответствии с радиалом станции.

При совмещенном размещении система VOR/DME обеспечивает непрерывное автоматическое определение местоположения ВС в зоне ее действия. Она состоит из азимутальной VOR и дальномерной DME автономных систем.

В зависимости от структуры излучаемого радиомаяком сигнала различают стандартный VOR и доплеровский VOR (DVOR).

Стандартный VOR излучает непрерывный сигнал в диапазоне частот 108 ... 118 МГц через антенну, имеющую в горизонтальной плоскости слабовыраженную диаграмму направленности. Вращение диаграммы направленности антенны с частотой F ==30 Гц приводит к амплитудной модуляции принимаемого сигнала с той же частотой. В точке с азимутом А огибающая принимаемого сигнала $И_{пр}$. запаздывает относительно огибающей сигнала, соответствующего северному направлению, на время t_A , а фаза $\varphi = 2\pi f\, t_A$. Азимутальный сигнал представляет собой синусоидальное напряжение, выделенное из огибающей принимаемого сигнала. Опорный сигнал — это частотно-модулированный (ЧМ) сигнал частотой 1

колебание поднесущей частоты F= 9960 Гц. В качестве модулирующего напряжения служит сигнал опорной фазы, равной фазе сигнала при азимуте А=0.

Поднесущим ЧМ колебанием модулируют по амплитуде колебания несущей частоты. Таким образом передают сигнал опорной фазы, который не зависит от направления приема. Бортовое оборудование содержит аппаратуру, в которой выделяются опорный и азимутальный сигналы и определяется разность фаз между ними, численно равную азимуту точки приема.

DVOR отличается от стандартного VOR тем, что информация об азимуте заключена в фазе ЧМ сигнала с поднесущей частотой F= 9960 Гц, а сигналы опорной фазы передаются с помощью амплитудной модуляции несущей частоты.

2.1.3. Distance Measuring Equipment – Дальномерное оборудование

Дальномерная система DME состоит из бортовых запросчиков и наземного приемоответчика. Как результат система позволяет отобразить в кабине наклонную дальность от ВС до станции, измеряемую методами вторичной радиолокации (рис.1). Последний имеет в своем составе приемник запросных сигналов, излученных бортовым запросчиком на одной из 126 фиксированных несущих частот в диапазоне =1025... 1150 МГц с интервалами Δf==1 МГц. Запросные сигналы представляют собой пару импульсов с кодовым интервалом 12 или 36 мкс. Коды запроса независимы от частоты, что позволяет получить 126х2=252 частотно-кодовых рабочих канала запроса. В ответ на сигнал запроса передатчик наземного маяка формирует двухимпульсный ответный сигнал с кодовым интервалом 12 или 30мкс. При этом ответные сигналы жестко связаны с частотой. Поэтому ответные сигналы содержат 252 фиксированные частоты с тем интервалом, но в диапазоне частот 962 ... 1213 МГц. Разность частот запроса и ответа постоянна - 63 МГц является первой промежуточной частотой.

2.1.4. ILS – Инструментальные системы посадки

Радиомаячные системы посадки ILS позволяют задавать прямолинейную пространственную траекторию захода на посадку и определять текущее положение ВС относительно нее, а также моменты прохода двух или трех точек на линии глиссады, расположенных на определенном удалении относительно ВПП. В ILS линия посадки (глиссада) формируется курсовым и глиссадным радиомаяками (КРМ и ГРМ). КРМ задает вертикальную плоскость (плоскость курса), проходящую через ось ВПП, ГРМ - наклонную плоскость (плоскость глиссады), которая в пересечении с плоскостью курса дает линию глиссады. Принцип действия этих радиомаяков идентичны. Диаграммы, приведенные на рис.3, поясняют общий принцип действия радиомаяков КРМ и ГРМ.

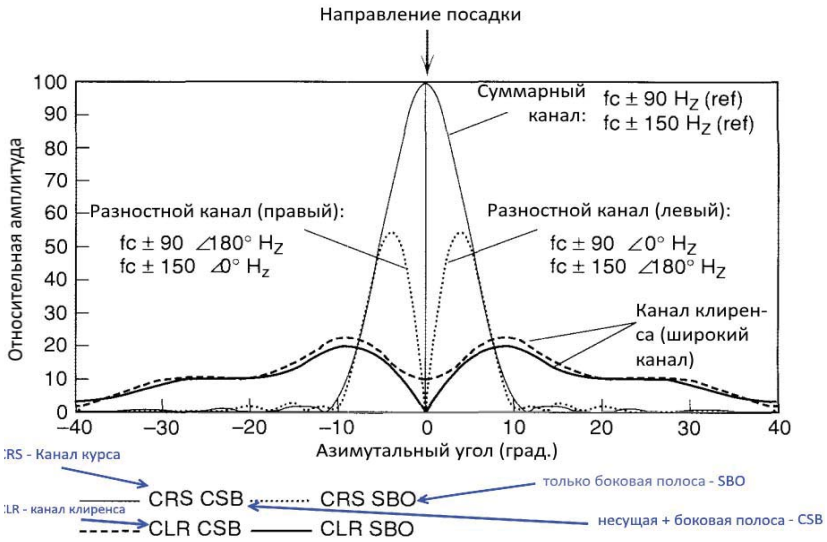

Рис.3. Суммарный и разностной каналы курсового радиомаяка

2.1.5. Маркерные радиомаяки.

На некатегорированных аэродромах устанавливают упрощенные системы посадки, включающие дальний и ближний приводные радиомаркерные пункты (ДРМП и БРМП), оснащенные дальней и ближней приводными радиостанциями (ПРС) и маркерными радиомаяками (МРМ). Дальний и ближний радиомаркерные пункты устанавливают на расстояниях соответственно (4000±200) и (1050±150) м от порога ВПП. Наличие дальнего МРМ позволяет экипажу с помощью сигналов МРМ проверить высоты полета, расстояния до точки приземления и готовности бортовых систем к обеспечению полета на конечном этапе захода на посадку. А с помощью сигналов ближнего МРМ экипаж имеет возможность получить информацию о близости визуального этапа посадки.

Использование глобальных навигационных спутниковых систем.

На протяжении длительного времени проводилась практика радионавигации на основе наземного вещания. В системах Декка, Лоран, Омега использовались наземные длинноволновые радиопередатчики, которые транслировали радиоимпульсы из известной главной станции (называемой "хозяин"), после чего был транслирован импульс, повторенный из ряда подчиненных ("рабских") станций. Задержка между приемом главного сигнала и подчиненными сигналами позволяет найти расстояние до каждой из подчиненных станций, обеспечивая исправление результатов вычислений.

Другим более перспективным видом радионавигационных систем являются системы спутниковой навигации, представляющие собой систему, использующую спутники для обеспечения автономного геопространственного позиционирования. Такие системы позволяют с помощью малогабаритного электронного приемника определять их местоположение с высокой точностью с использованием сигналов времени, передаваемых вдоль линии видимости по радио со спутников. Система может использоваться для определения положения, навигации или для отслеживания положения любого объекта, оснащенного приемником. Сигналы также позволяют электронному получателю рассчитать текущее местное время до высокой точности, что позволяет синхронизировать время.

Радиолокационный контроль.

При наблюдении или навигационном применении РЛС может служить "навигатору" в качестве весьма ценного инструмента, если используются его характеристики и ограничения. При определении позиции с помощью наблюдения за диапазоном и ромбом выделенного, изолированного и четко определенного объекта, имеющего относительно хорошие свойства, по-прежнему требуется, чтобы навигатор понимал характеристики и ограничения его радара. Более общая задача использования РЛС при наблюдении за зоной аэродрома, в которой радиолокационные цели не столь очевидны или четко определены, требует значительных знаний, которые могут быть получены лишь на основе надлежащего понимания особенностей и ограничений при использовании радара.

Основное использование радиолокационной станции в рамках АТС заключается в улучшении положения в области разъединения. Теоретически радар дает АТС возможность определять позицию летательного аппарата с большей точностью, чем пилотажные. Однако системы спутниковой навигации с точностью до десятка метров и порой до метров может обеспечивать в АТС новое измерение. Радиолокационные системы охватывают длительное наблюдение, используемое в области контроля над районом (промежуточный трафик), радиолокационную РЛС терминала (ТАР), используемую вблизи аэродрома или аэродромов

для оказания услуг по прибытии и выпуску дорожного движения, а также РЛС для наземного движения на аэродроме, чтобы предоставить контроллеру аэродрома информацию в неудовлетворительной видимости или в ночное время.

При наличии радиолокационного контроля можно решать следующие задачи: радиолокационное обслуживание; радиолокационное разделение; радиолокационное векторирование; процедуры контроля за воздушным пространством; активный радиолокационный контроль (опознавание и идентификация).

3. Использование зональной навигации.

Продолжающийся рост авиационных перевозок увеличивает потребности в модернизации воздушной навигации, что подчеркивает необходимость оптимального использования имеющегося воздушного пространства. Повышение эффективности оперативной деятельности, обусловленное применением методов зональной навигации, привело к разработке и применению прикладных программ навигации на всех этапах полета в различных регионах мира. Эти возможности потенциально могут быть расширены, с тем чтобы дать руководящие указания по отношению к операциям по наземным перевозкам.

Зональная навигация (Area Navigation - RNAV) – это метод навигации, который позволяет летательным аппаратам выполнять полет по любой желаемой траектории, выбирая курс в сети радионавигационных маяков относительно этих радиомаяков. RNAV обеспечивает снижение дальности полета, снижение перегруженности и полеты в аэропорты без радиомаяков [7].

Основная идея RNAV заключается в том, что ВС, выходя на точку маршрута, где начинается применение RNAV, может выполнять полет по прямой, без привязки поворотных пунктов маршрута к точкам установки наземных навигационных средств.

RNAV позволяет осуществлять полет воздушного судна по любому желаемому курсу в пределах охвата радионавигационных сигналов, излучаемых наземными станциями, или в пределах автономной системы, или же в комбинации этих систем. Другими словами, зональная навигация позволяет пилоту ВС выполнять полет по любой рекомендуемой траектории, в пределах зоны действия наземных аэронавигационных средств или в пределах, определяемых возможностями автономных средств ВС, или их комбинации.

На рис.4 приведена упрощенная схема использования зональной навигации.

Требования, предъявляемые к навигационным приложениям на конкретных маршрутах или в конкретном воз-

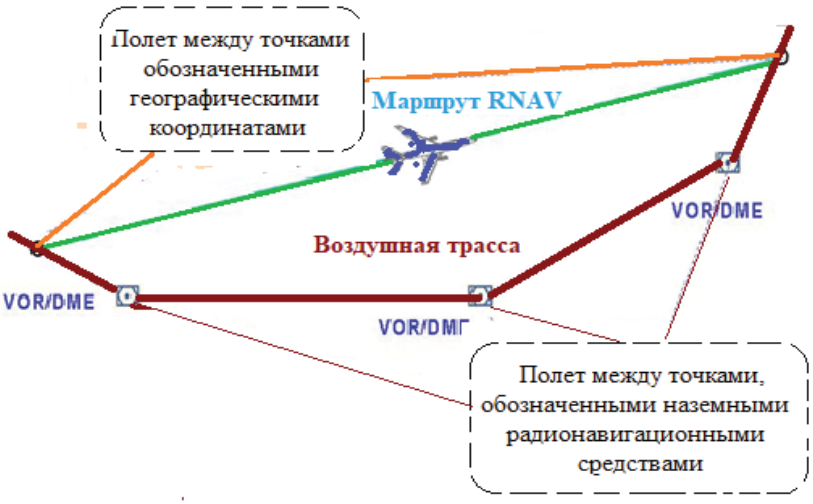

Рис.4. Упрощенная схема, показывающая основное различие между традиционной навигацией и методами зональной навигации (RNAV)

душном пространстве, должны определяться четким и сжатым образом. Это необходимо для обеспечения того, чтобы экипаж ВС и диспетчера УВД оценивали возможности бортовой системы зональной навигации (RNAV), с целью определить, подходит ли система RNAV для конкретных требований воздушного пространства.

RNAV использует комбинацию VOR и DME для создания выпрямленных трасс, либо путем соединения точек, определяемых широтой/долготой, либо путем триангуляции или трилатерации (как показано пунктирными линиями к точке A_1 на рис.5). Бортовой навигационный компьютер или система управления полетом рассчитывает боковое смещение L от трассы напрямую и расстояние D до следующей путевой точки A_2 вдоль трассы.

На рис.5. ρ_1 и ρ_2 это измеренные расстояния до станций DME в позициях V_1 и V_3. Позиция P_1 находится из треугольника $P_1V_1V_3$. Позиция самолета должна быть известна достаточно хорошо, чтобы исключить ложное решение на P_2. Трассы напрямую определяются точками A_1 и A_2. Значения D и L, как правило, находят итеративным путем:

- Допустим, на базе имевшейся до этого навигационной информации нам известна предыдущая позиция P_1. Воспользуемся обозначениями согласно рис. 5.
- Рассчитываем расстояния ρ_1 и ρ_3 на станции DME в позициях V_1 и V_3, используя информацию о составляющих скорости в соответствии с формулой:

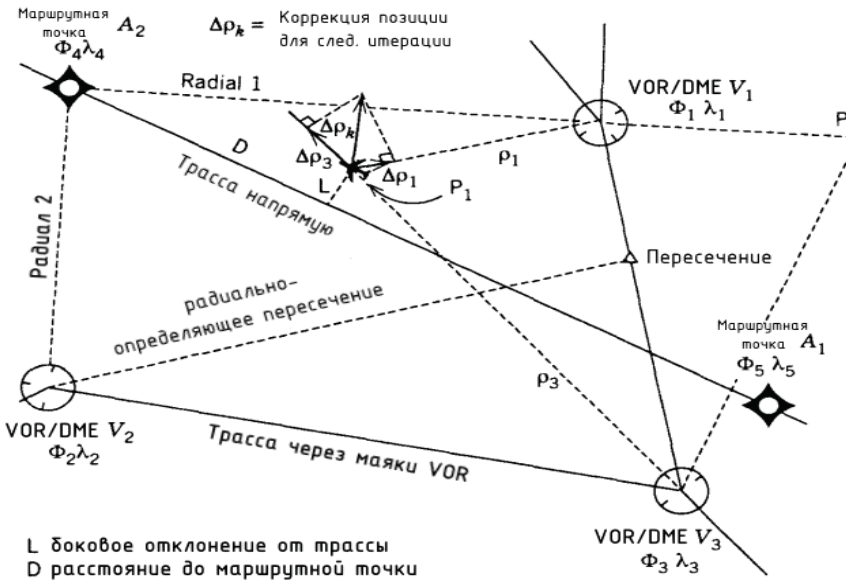

Рис. 5. Плановый вид определения положения ВС относительно назначенной воздушной трассы в зональной навигации

$$R = \hat{x}(R_m + h)cos\Phi cos\lambda + \hat{y}(R_m + h)cos\Phi sin\lambda + \hat{z}\left[(R_m + h)sin\Phi - \frac{a\epsilon^2 sin\Phi}{\sqrt{1 - \epsilon^2 sin^2\Phi}}\right]$$

Хотя посредством измерения «дальность – азимут» на одну станцию VOR и можно рассчитать местоположение ВС, точность в этом случае значительно уступает методу «дальность – дальность» на 2 станции.

- Корректируем измеренные дальности в соответствии с высотами ВС и станции DME.
- Определяем разность между измеренной и рассчитанной дальностями:

$$\Delta\rho_1 = \rho_{1(measured)} - \rho_{1(calculated)}$$

$$\Delta\rho_3 = \rho_{3(measured)} - \rho_{3(calculated)}$$

Таким образом, получаем оценочное значение позиции ВС ρ_i вдоль вектора $\Delta\rho_к$ Повторяем расчеты по пункту 2 вплоть до того, когда значение $\Delta\rho_i$ пренебрежимо мало.

При полете по маршруту, также при посадке зональной навигации - RNAV взаимодействует с системой автопилотирования. На рис.6 дана структура RNAV и схема взаимодействия с автопилотом.

RNAV развивалась таким же образом, как и обычные наземные маршруты и процедуры. Была определена конкретная Система зональной навигации, и ее результаты были оценены с помощью комбинации анализа и летных испытаний. Для выполнения операций на суше первоначальные системы использовали VOR и аппаратуру для измерения расстояния DME для оценки положения; для полетов над океанами использовались инерционные навигационные системы (INS). Критерии контроля воздушного пространства и препятствий были разработаны на основе функциональных возможностей имеющегося оборудования, а критерии к предъявляемым требованиям были основаны на имеющихся возможностях. Такие требования, предъявляемые к критериям, привели к задержкам с внедрением новых возможностей системы RNAV и более высокими издержками для поддержания надлежащей сертификации.

Во избежание таких предписаний, касающихся требований, был введен альтернативный метод определения требований к оборудованию. Это обеспечивает спецификацию требований к производительности, независимо от имеющихся возможностей оборудования, и является термином навигации, основанной на производительности. Таким образом, RNAV теперь является одним из методов навигации, другим видом является система навигации с требуемыми характеристиками навигации (RNP – Required Navigation Performance).

RNAV и RNP системы имеют фундаментальное сходство. Ключевым различием между ними является потребность в мониторинге и оповещении об эксплуатационных характеристиках на борту. Спецификация навигации, включающая требование для наблюдения за эксплуатационными характеристиками и оповещения на борту, называется RNP спецификацией. Система зональной навигации, способная обеспечить выполнение требования RNP спецификации, называется системой RNP.

Рис.6. Упрощенная структура RNAV

Многие RNAV системы, с учетом требований обеспечения очень высокой точности и множества функций, предоставляемых RNP системами, не могут обеспечить гарантии их выполнения. Учитывая это и не

позволяя операторам нести ненужные расходы, в тех случаях, когда требование в отношении воздушного пространства не требует использования RNP системы, многие новые, а также существующие навигационные требования будут по-прежнему указывать RNAV, а не RNP системы. Поэтому ожидается, что RNAV и RNP операции будут сосуществовать ещё на протяжении многих лет.

Однако системы RNP обеспечивают улучшение целостности функционирования, позволяя, возможно, более тесные промежутки между маршрутами, и могут обеспечить достаточную целостность, позволяющую использовать только RNP системы для полетов в конкретном воздушном пространстве. Поэтому использование RNP систем может обеспечить высокую безопасность, оперативную и экономическую эффективность. Хотя RNAV и RNP приложения будут сосуществовать в течение ряда лет, предполагается, что будет постепенно переход к RNP прикладным системам, поскольку доля летательных аппаратов, оснащенных RNP системами, увеличится, а затраты на переходный период сократятся.

Спецификации RNAV включают требования к определенным навигационным функциям. Эти функциональные требования включают: непрерывное определение местоположения летательных аппаратов относительно отслеживания, которое должно быть выведено на пилотный полет на навигационном дисплее, расположенном в его основном поле зрения; отображение расстояний и направлений на активную промежуточную точку (радионавигационную точку); отображение путевой скорости или времени полета до активного промежуточного пункта; наличие функций хранения навигационных данных; надлежащую информацию о неисправности системы RNAV, включая ее датчики.

4. Система дополненной реальности и возможности её применения в авиации

Особенности системы дополненной реальности.

Исследования, оперативная деятельность и работы по применению технологий с расширенной реальностью в течение последнего десятилетия стали проводиться во всей мировой авиационной промышленности.

По данным корпорации Intel, официальное определение дополненной реальности – это наложение на компьютерные технологии усовершенствований в реальном мире, например таких как считывание давления масла на панели в кабине. Виртуальная реальность как создание среды компьютером, который человек видит в полной мере, обычно достигается с помощью очков или дисплея, вмонтированного в шлем. Например, используя виртуальную реальность, пользователь может виртуально посетить отсек авиационного электронного оборудования.

Дополненная реальность (Augmented Reality - AR) может быть определена как способность справляться с новой информацией, непосредственно или косвенно влияющей на физическую реальную окружающую среду. AR была усовершенствована добавлением к ней информации, генерируемой виртуальным компьютером [5, 6]. Кроме того, AR, как указывает Азума [8], не только ограничивается техническим оборудованием, но и объединяет реальные и виртуальные элементы в реальной среде. Кроме того, он записывает реальные и виртуальные объекты вместе, а затем выполняет действия совместно в реальном времени в трех измерениях [9]. Милграм и Кишино [2] определили континуум реальности-виртуальности, где AR считается частью общей тематической области смешанной реальности. Виртуальные

среды и расширенная виртуальность, в которых реальные элементы подсоединены к виртуальным, могут заменить смежную среду виртуальной. Напротив, местная виртуальность является оператором расширенной реальности, как показано на рис. 7.

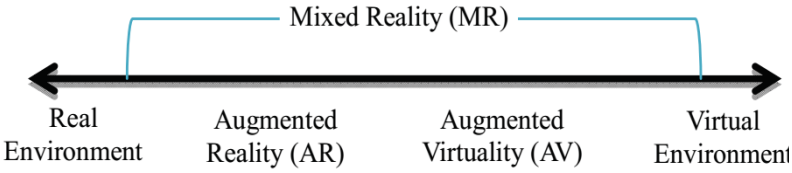

Рис. 7. Континуум реальности-виртуальности

Цель AR состоит в том, чтобы упростить жизнь пользователя путем предоставления виртуальной информации его смежной среде, а также любого косвенного представления реальной среды, подобной потоку онлайн-видео. Другая цель AR состоит в том, чтобы развивать понимание пользователя и связь с реальным миром. Виртуальная реальность или виртуальная среда, названная Милграм, способна вовлекать пользователей полностью в искусственный мир, не видя реального. С другой стороны, усиленная реальность способствует укреплению чувства реальности путем создания виртуальных позиций в реальном мире в реальном времени. AR не только добавляет элементы в реальном слове, но также предоставляет полезную цифровую информацию в реальном мире [5, 6].

Структура предлагаемой системы с дополненной реальностью в контексте пилотирования ВС

Концепция дополненной реальности в контексте пилотирования ВС предполагает использование пилотом специальных стереоочков, прозрачные линзы которых отображают сгенерированные компьютером 2- и 3-мерные объекты (рис.8). При движении по перрону картинка дополняется маркировкой рулежных дорожек и взлетно-посадочной полосы. Листы предполетной проверки – чеклисты – отображаются непосредственно на линзах стереоочков. Полет на эшелоне сопровождается 3-мерным отображением маршрута полета, а также данных, полученных посредством систем предупреждения столкновения ВС и приближения к Земле. Также могут быть отображены команды, полученные от диспетчеров управления воздушного движения по каналам CPDLC (Controller-Pilot Datalink Communications – Каналы связи для обмена данными между пилотами и диспетчерами управления воздушного движения) и ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System - Адресно-отчётная система авиационной

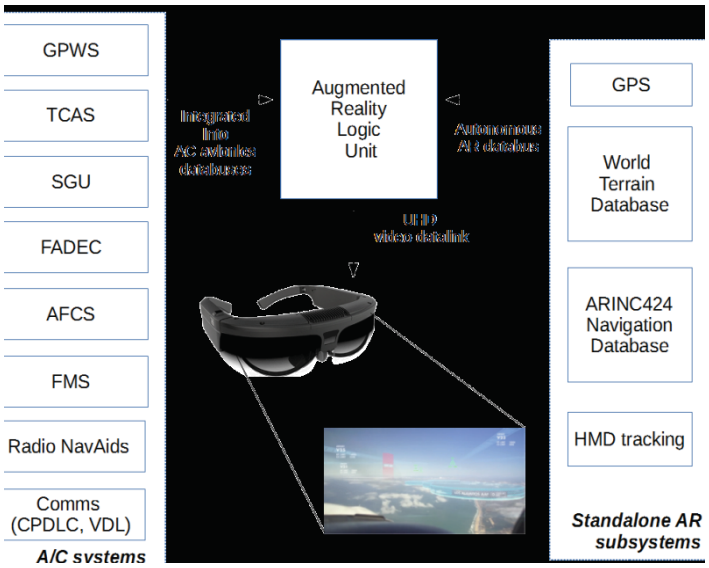

Рис.8. Обобщенная структура концепции дополненной реальности в контексте пилотирования ВС

связи). На этапе подхода к ВПП зеленые рамки позволяют пилоту выполнить посадку точно по курсу и глиссаде – линии оптимального снижения.

Ключевой мерой AR систем является то, как реально они интегрируются с картинкой из реального мира. Программное обеспечение должно определить с камеры изображения реальные координаты, независимо от используемой камеры. Этот процесс называется регистрацией изображения, которое использует различные методы компьютерного зрения, в основном связанные с отслеживанием видео. Многие методы компьютерного зрения дополненной реальности унаследованы от визуальной одометрии. Как правило, эти методы состоят из двух частей.

Во-первых, обнаружение в кадрах с камеры точек, координатных маркеров и оптических потоков, наиболее характерных для искомого объекта. На первом этапе можно использовать такие методы обнаружения, как обнаружение углов, границ или «порогирования» и/или других методов обработки изображений. Второй этап восстанавливает реальный мир системы координат из данных, полученных на первом этапе. Некоторые методы предполагают обнаружение объектов с известной геометрией, присутствующих в сцене. В некоторых из этих случаев 3D структура сцена должна быть вычислена заранее. В случае, когда часть сцены неизвестна, можно сопоставить относительные позиции, используя одновременную локализацию и отображение (SLAM – simultaneous localization and mapping). Если информация о геометрии сцены отсутствует, используется структура из методов движения как регулировки пучка. Математические методы, используемые на втором этапе, предполагают применением проекционной (эпиполярной) геометрии, геометрической алгебры, представление вращения с экспоненциальным отображением, фильтра Кальмана, нелинейной оптимизации, методов статистической надежности.

Как видно из рис. 8, предлагаемая нами идея применения дополненной реальности в контексте пилотирования ВС предполагает внедрение системы дополненной реальности в структуру авионики современных ВС, которая может быть использована как полностью автономно, так и дублировать показания уже существующих в кабине приборов в наиболее удобной и предотвращающей «информационную перегрузку» форме.

Заключение. Использование методов дополненной реальности предполагает:

- обнаружение, распознавание и определение местоположений и расстояний до объектов на основе визуальных маркеров с использованием специальных алгоритмов и сред программирования;
- разработку алгоритмов дополненной реальности на базе прикладных программ Unity3D, Sketchup и библиотек Vuforia, Artoolkit и т.д.;
- обнаружение и слежение за 3-мерными подвижными объектами в режиме реального времени;
- анализ и выбор современных компьютеризированных систем совмещения реальной и виртуальной сцен;
- анализ особенностей применения методов дополненной реальности в процессах летно-технической эксплуатации авиационной техники;
- разработку математических моделей, алгоритмов и программное обеспечение дополненной реальности.

REFERENCES

1. Performance-based Navigation Manual. ICAO Doc 9613 AN/937, Edition 3, 2008.
2. **Bowditch, Nathaniel** (1995). "Glossary". The American Practical Navigator (PDF). 9. Bethesda, Maryland: National Imagery and Mapping Agency. p. 815. ISBN 978-0-939837-54-0. Retrieved 2010-12-14.
3. **Myron Kayton and Walter R. Fried.** Avionics navigation systems. Copyright © 1997 by John Wiley & Sons, Inc., p. 773, ISBN 0-471-54795-6.
4. Federal Aviation Administration. Code of Federal Regulations. Part 91 Sec. 91.155 Amendment No. 91-330 - Eff. 04/22/2015
5. Federal Aviation Administration. Code of Federal Regulations. Part 71 Sec. 71.33. Retrieved 24 Aug 2015.
6. Federal Aviation Administration. Code of Federal Regulations. Part 71 Sec. 71.31.
7. **Clausing, Donald J.** (2006). The Aviator's Guide to Navigation (4th ed.). New York: McGraw-Hill. p. 77.
8. "A Beginner's Guide to GNSS in Europe" (PDF). IFATCA. Retrieved 20 May 2015.
9. https://www.ngs.noaa.gov/CORS/

MÜASİR AERONAVİQASİYANIN PROBLEMLƏRİ VƏ TAMAMLANMIŞ REALLIQ ƏSASINDA NAVİQASİYANIN TƏTBİQİ PERSPEKTİVLƏRİ

A.M. PAŞAYEV, İ.Ə. İSGƏNDƏROV, S.M. KƏRİMOV

Məqalədə ənənəvi aeronaviqasiyanın metod və vasitələrinin xüsusiyyətləri, müasir dövrdə ənənəvi aeronaviqasiya istifadə etməklə uçuşların yerinə yetirilməsi problemləri təhlil olunmuş, tamamlanmış reallıq əsasında naviqasiya sisteminin işlənməsi və tətbiqi imkanları tədqiq edilmiş, həmçinin belə sistemin strukturu təklif edilmişdir

Açar sözlər: *zonal naviqasiya, radionaviqasiya sistemləri, vizuallaşdırma vasitələri, hava hərəkəti, tamamlanmış reallıq, uçuşlara nəzarət.*

PROBLEMS OF MODERN AIR NAVIGATION AND APPLICATION PROSPECTS OF NAVIGATION WITH AUGMENTED REALITY

A.M. PASHAYEV, I.A. ISKENDEROV, S.M. KERIMOV

This article examines the features of traditional air navigation methods and aids, problems of the flight performance using traditional navigation in the modern conditions, the possibilities of development and application of the navigation system in the augmented reality, the structure of such system is proposed.

Keywords: *area navigation, radio-navigation systems, visualization means, air traffic, augmented reality, flight control.*