

## **Навигация авиационного потребителя с использованием цифровых карт**

В.В. Малышев, В.В. Куршин

*Решается задача навигации в реальном времени при помощи цифровых карт авиационного потребителя, использующего при определении положения ГЛОНАСС/GPS/WAAS оборудование. Предложено использовать в бортовом компьютере дисплей, реагирующий на нажатие – touch-screen. Разработана и реализована концепция построения программного обеспечения для бортового навигационного компьютера, функционирующего в реальном времени и обрабатывающего данные о текущих координатах объекта и команды пилота. Навигация авиационного потребителя осуществляется в том числе по терминальным картам при посадке самолета.*

### **Введение**

Определение координат потребителя – это основа для решения задачи управления объектом. Использование при навигации спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS/WAAS позволяет определять положение потребителя с высокой точностью – до нескольких метров [1, 2]. При управлении самолетом огромную роль играет человеческий фактор, поскольку именно пилот принимает все решения, а бортовая аппаратура только помогает ему. И вопрос о способе предоставления информации имеет большое значение. Спутниковые навигационные приемники определяют положение, как правило, в географической системе координат: широта, долгота, высота. Ориентирование же на местности проходит при помощи бумажных, полетных карт. Разумеется, при известном положении объекта ориентирование по карте представляет собой не очень сложную задачу. Но при все возрастающих скоростях полета, огромном потоке диагностической и другой информации пилоту затруднительно проводить дополнительные расчеты по карте. Поэтому для повышения безопасности полета необходимо обеспечить автоматическую навигацию самолета по цифровой карте. В англоязычной литературе подобная задача носит название “moving map” [2].

### **1. Применение цифровых карт в навигации**

Использование цифровых авиационных карт позволяет показать текущее положение самолета на карте, то есть осуществить навигацию по карте. Также можно просмотреть различные

фрагменты местности, расположения аэродромов и т.д. Вторая задача носит название «тактический просмотр» [3]. Традиционно навигационные карты были бумажными. Первые цифровые карты показывали только те данные, какие были доступны бумажным картам. И первые цифровые карты не могли обеспечить пилота топографической, тематической или другой дополнительной информацией. Сегодня цифровые карты для навигации и тактических просмотров получили огромное распространение и делают доступным для пилотов широкий спектр различной дополнительной информации.

В настоящее время используются три типа цифровых карт:

- оцифрованные бумажные карты;
- базы данных-карт;
- гибридные карты.

Эти карты имеют различные логические форматы записи данных и также используют всевозможные носители - дискеты, магнитные ленты, различные картриджи, CD-ROM, DVD-диски. Логические форматы данных карт, в основном, определяются их изготовителем.

**Оцифрованные карты** делаются при помощи оптического сканера, который считывает информацию с бумажной карты и преобразует ее в цифровую последовательность. Поскольку оптический сканер считывает данные по точкам - пикселям, то полученная таким образом электронная карта является растровой. Преимущество растровых карт – это высокая скорость их изготовления и “узнаваемость”. Основной недостаток растровых карт заключается в невозможности их модификации. При внесении каких-либо изменений в эталонную бумажную карту процесс подготовки растровой карты нужно повторить заново. Для того, чтобы избежать этой проблемы применяется другой тип карт - векторные. Заметим также, что вторым недостатком растровых карт является довольно-таки большой объем занимаемых данных. Векторные карты создаются на основе растровых карт. И если растровая карта оперирует с упорядоченными некоторым образом точками, характеризующимися различными цветами, то векторная карта использует направленные векторы, также обладающие цветом. На основе векторов могут создаваться более сложные объекты. Так, последовательность векторов может быть замкнутой, а образуемый контур заполняться цветом. Таким образом можно отобразить, например, участок земли или озеро. Заметим, что векторизация требует значительных усилий, причем сам процесс векторизации практически не автоматизируется и стоимость векторных карт велика. Однако, для векторных карт их модификация не составляет большого труда. Да и векторные данные занимают меньший объем. Другое достоинство векторных карт – это их отличная масштабируемость, причем в зависимости от масштаба могут быть доступными только определенные слои векторов, чтобы не загромождать общую картину.

Для практического использования в навигации оцифрованные карты необходимо «привязать» к используемой географической системе координат. Привязка карт не требует больших временных и материальных затрат. Единственное требование к точности привязки – чтобы она была достаточной, поскольку точность навигации на оцифрованной карте зависит от точности привязки. Теоретически точность привязки растровой и векторной карт одинакова и сравнима с бумажной эталонной картой.

**Базы данных-карт** представляют собой совокупность координат различных объектов, обладающих определенными свойствами, как-то: цвет, протяженность, толщина, и т.д. Базы данных-карт обладают более высокой точностью и могут быть как двухмерными, так и трехмерными. Модификация баз данных-карт может осуществляться при помощи различных источников, в том числе через Интернет.

**Гибридные карты** – это комбинации оцифрованных бумажных карт и цифровых баз данных-карт. Гибридные карты обладают более высокой точностью, чем оцифрованные бумажные карты, за счет использования дополнительной информации о координатах определенных объектов, находящихся в базе данных. При этом для вычисления координат произвольных объектов, не входящих в базу данных, применяется интерполяция.

Как уже отмечалось ранее, цифровые карты в авиации применяются как для навигации самого самолета или вертолета, так и для просмотра любых других участков местности, что дает возможность пилоту, например, проложить курс. Спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС снабжают пилота данными о текущих географических координатах, а пилот при помощи бумажной карты определяет свое положение на местности. Понятно, что такая навигация отнимает у пилота много времени. К тому же точность навигации по бумажной карте не достаточно высока. Например, если точность прокладки курса на бумажной карте равна 1 мм (ширина следа карандаша), то на карте 1:50000 это соответствует 50 метрам. В условиях вибрации и тряски точность прокладки курса будет значительно ниже. Навигация же по цифровой карте с использованием ГЛОНАСС/GPS/WAAS-датчиков значительно облегчает процесс управления самолетом, повышает безопасность полета и обладает высокой точностью. Поскольку визуализация цифровой карты осуществляется на дисплее бортового компьютера, то это дает возможность показывать и другую необходимую информацию, как-то: расчетное время прилета, расстояние до пункта назначения, высоту над поверхностью Земли и т.д. Если бортовой аппаратуре доступны данные о координатах других объектов, то их расположение может быть также показано на дисплее компьютера.

Очевидно, что до полета, после, а главное, в процессе полета пилот должен иметь возможность управлять работой навигационного компьютера. Например, пилот может

ознакомиться с картой, ввести полетный маршрут, увеличить или уменьшить масштаб выводимой на экран карты и т.д. И способ интерактивного взаимодействия пилот – компьютер напрямую связан с безопасностью полета. Необходимо, чтобы управление навигационным компьютером было бы максимально комфортным для пилота. И наиболее естественным и удобным способом для управления навигационным компьютером является нажатие пальцем пилота на дисплей.

Ряд фирм (программы “FlightMap”, “Preston Peavy”) предлагают использовать указательное устройство touch-pen для управления компьютером [4]. Такой подход упрощает создание программного обеспечения для компьютера, поскольку позволяет применять Windows-ориентированный интерфейс и соответствующее программное обеспечение. Несколько иное решение предлагается для программы “Navplan” – данная программа ориентирована для использования на компьютерах типа Palmtop [4]. Но указанные подходы не совсем удобны – поскольку вибрация, качка и т.д. не позволяют точно попасть в нужное место на дисплее. К тому же пилот должен для управления навигационным компьютером держать в руке устройство touch-pen. Очевидно, что данное требование уменьшает безопасность полета.

Поэтому рядом фирм было предложено использовать специализированные навигационные компьютеры. Так, фирма SAS разработала навигационный компьютер M-5000, предназначенный для самолетов [5]. Особенностью данного компьютера является использование в качестве источника информации GNSS-транспондера, который позволяет определять координаты не только самого объекта, но и других объектов, снабженных такими же устройствами. Это дает возможность пилоту видеть на экране компьютера M-5000 положение других самолетов. Фирма Trimble Navigation предлагает систему HT9100, использующую в качестве источника данных 12-канальный GPS приемник, а также более простой прибор Trimble GPS Map [6]. Фирмой GARMIN также предлагаются аналогичные системы – GNS 430, GNS 530 и GPSMAP 195, GPSMAP 295 [7]. Необходимо заметить, что карта, выводимая на экране Trimble GPS Map очень схематична (только некоторые пункты и нет местности). То же самое можно сказать о серии Garmin GPSMAP. Фирма FURUNO разработала навигационный компьютер “Digital Mapping System”, предназначенный для вертолетов [8] и используемый исключительно в Японии. Фирма Transas выпустила систему “Advanced Moving Map System”, в России эта система имеет название “АБРИС” [9]. Данная разработка предполагает использование карт Jeppesen, Transas Charts. Российская система “Планшет” использует карты фирмы С-MAP. Все эти навигационные компьютеры для управления используют специальные кнопки, расположенные рядом с дисплеем. При помощи этих кнопок осуществляется перемещение курсора для установки путевых точек, выбор режима функционирования и т.д. Очевидно, что в этом случае процесс управления навигационной

программой будет занимать определенное время. Достаточно упомянуть, например, установку путевой точки или “пролистывание” рабочих режимов.

Поэтому предлагается использовать в бортовом компьютере дисплей, реагирующий на нажатие – touch-screen. Это дает возможность как бы совместить и дисплей и кнопки управления в одном устройстве. Такое решение, на наш взгляд, существенно улучшает эргонометрические свойства навигационного компьютера.

Отметим и еще одно преимущество использования дисплея touch-screen. Если пилоту необходимо ввести какую-нибудь информацию, то для этого используется дополнительная клавиатура. В случае применения touch-screen на дисплее отображается виртуальная клавиатура и при ее помощи может осуществляться ввод информации.

Таким образом, навигационный компьютер, использующий дисплей touch-screen, обладает несомненным преимуществом по сравнению с компьютером, оборудованным обычным дисплеем.

Понятно, что применение дисплея touch-screen требует создания программного обеспечения, реализующего соответствующий интерфейс с виртуальными кнопками и окнами, реагирующими на нажатие. Но это нельзя отнести к недостатку интерфейса touch-screen, скорее это его особенность.

Необходимо отметить, что фирма Fugawi в навигационном программном обеспечении также использует растровые карты [10]. Но программное обеспечение “Fugawi Navigation Software” предназначено для офисных компьютеров и использует Windows-интерфейс, что затрудняет его применение на борту движущегося самолета или вертолета.

Программа JEPView фирмы JEPPESEN обладает некоторыми навигационными возможностями, но она предназначена для офисных компьютеров и использование на бортовом компьютере практически не возможно [11]. В основном же JEPView предназначена для предполетной подготовки пилота и фактически является компьютерной базой данных о терминальных, взлетно-посадочных картах.

Программа PCVtrack фирмы Trimble использует растровые карты, но данное программное обеспечение опять-таки не предназначено для бортовых компьютеров (а для следящих систем) [6].

Проанализировав достоинства и недостатки растровых, векторных и комбинированных карт, авторы выбрали комбинированные или смешанные карты, использующие как основу растровые карты, а некоторые элементы – полетный маршрут, поисковая информация – векторные.

Для решения задачи навигации авиационного потребителя по цифровой карте была разработана программа NaviMap (**N**avigation and **M**ap), реализующая рассмотренные выше требования к бортовому навигационному компьютеру, использующему дисплей touch-screen.

Программа NaviMap может использовать для навигации GNSS-транспондер, что дает возможность видеть на экране бортового компьютера все рядом находящиеся объекты. Подобным свойством из всех выше перечисленных программ и приборов обладает только бортовой компьютер M-5000 фирмы SAS.

Разработанная программа NaviMap дает возможность (как и JEPPView) просмотреть расположение находящихся рядом аэродромов и ознакомиться с характеристиками взлетно-посадочных полос. Но программа NaviMap, в отличие от программы JEPPView, обладает режимом Approach, что дает возможность осуществить навигацию по карте в реальном времени при посадке самолета. Эта возможность программы NaviMap существенно повышает безопасность пилотирования.

Также для повышения безопасности пилотирования программа NaviMap позволяет использовать дополнительную информацию о высоте над поверхностью Земли. Необходимость использования такой информации объясняется тем, что при помощи спутниковой навигации определяется высота объекта не над поверхностью Земли, а над некоторой моделью Земли. В GPS навигации используется модель Земли WGS-84, в ГЛОНАСС навигации – эллипсоид Красовского. Поэтому для вычисления истинной высоты необходимо знать расстояние между соответствующей точкой, принадлежащей применяемой модели Земли, и реальной высотой над поверхностью Земли. Применение базы данных о реальной высоте поверхности Земли позволяет улучшить качество навигационного обеспечения программы NaviMap. Из рассмотренных выше навигационных программ только FlightMap обладает возможностью определения текущей высоты. Но данный режим в программе FlightMap доступен только в режиме посадки, что является недостаточным для обеспечения безопасности полета, например, над гористой местностью. Выгодное отличие программы NaviMap заключается в осуществлении непрерывной индикации высоты полета над поверхностью Земли.

Отметим также следующий аспект, который требуется учесть при разработке программного обеспечения для навигационного компьютера. Это программа функционирует в реальном времени и должна своевременно обрабатывать различные события, как-то: поступление новых данных о положении объекта, ввод пилотом новой команды, проверка работоспособности внешних устройств и т.д. И необходимо, чтобы не было потерь данных и временных задержек при вводе команд, чтении или записи на постоянные носители.

Следующее требование к программе – это возможность функционирования в условиях, когда сенсорные датчики могут временно не работать, либо уже в процессе полета необходимо подсоединить дополнительный датчик. Понятно, что при этом программа должна работать постоянно.

Реализованная в программе NaviMap концепция построения программного обеспечения для бортового навигационного компьютера успешно справляется с этими требованиями. Эта концепция основывается на использовании многозадачной операционной системы. Сама же программа состоит из нескольких потоков, выполняемых одновременно и имеющих различные приоритеты.

## **2. NaviMap – авиационная навигация на основе цифровых карт**

Разработанная программа NaviMap обеспечивает навигацию движущегося объекта (самолета, вертолета) в реальном времени с использованием цифровых карт.

В качестве дисплея бортового навигационного компьютера используются достаточно информативные цветные VGA или SVGA дисплеи с разрешающей способностью 640x480 / 800x600 точек и реагирующие на нажатие. Причем ориентация такого дисплея может быть как горизонтальная, так и вертикальная, другими словами возможно использование графики в режиме 480x640 / 600x800 точек. Это необходимо в ряде случаев, чтобы уменьшить занимаемое место на кокпите в кабине самолета.

Как уже отмечалось, программа NaviMap использует растровые карты. Это в свою очередь потребовало разработать методику подготовки оцифрованных карт и создания дополнительных программ-утилит. Кратко изложим способ создания таких карт.

1. Этап **сканирования** бумажных эталонных карт заключается в получении ее электронной копии в каком-либо графическом формате. Выходной формат зависит от типа сканера. Так, карты NaviMap первоначально были подготовлены в графическом формате TIFF.
2. **Изменение графического формата и масштаба** необходимо, поскольку программа NaviMap использует данные в графическом формате BMP. Это более удобный в программировании формат. Масштабирование же позволяет убрать дублирующие и малоинформативные данные. Так, например, отсканированная авиационная карта Jeppesen ED-1 (масштаб 1:500000) имеет размер около 240 Мб, а после масштабирования – около 45 Мб.
3. **Изменение цветовой палитры** также направлено на то, чтобы убрать малоинформативные данные. При просмотре на экране дисплея цветных карт достаточно использовать 256 цветов. При большем количестве цветов – 65536 – качество изображения практически такое же, но размер графического файла увеличивается в два раза. А более бедная цветовая палитра в 16

цветов недостаточно информативна. Поэтому оптимальной является 256-цветовая палитра, требующая для представления одной точки в формате BMP 1 байт данных.

4. **Фрагментирование** карты позволяет повысить быстродействие программы NaviMap. Суть его заключается в “разрезании” всей карты на кусочки определенного размера. И уже в процессе работы программа NaviMap читает с дискового носителя данные и загружает в память не всю большую карту, а только несколько нужных фрагментов. В программе NaviMap был принят размер фрагмента – 1000x1000 пикселей. Для выбранного формата BMP и для 256-цветовой палитры размер одного фрагмента карты – 1 Мб. Заметим, что фрагментирование карт потребовало от программы NaviMap осуществлять “склеивку” нужных фрагментов.
5. **Привязка карты** осуществлялась в системе координат WGS-84, поскольку предполагалось использование GPS-датчиков. При ГЛОНАСС-навигации привязка должна проводиться в системе ПЗ-90. Привязка осуществляется для всей карты, полученной на 3-ем этапе, поскольку для фрагментов карты привязку проводить довольно-таки неудобно.

В качестве операционной системы была выбрана 32-х разрядная мультизадачная Windows (Windows-9x/2k/XP). В основном это было пожелание потенциальных потребителей, поскольку это давало возможность использовать бортовой компьютер и для других целей – работать со специальными базами данных и т.д. Необходимо отметить, что применение операционных систем реального времени, например: Tornado, QNX, позволяют уменьшить требования к оперативной памяти компьютера. Но стоимость подобных операционных систем и соответствующего программного обеспечения гораздо выше, чем Windows-9x/2k/XP. К тому же в последнее время стоимость оперативной памяти резко уменьшилась. Другие же отличия, как-то: масштабируемость системы, время реакции, скорость работы с внешними устройствами менее существенны для нашей задачи. Поэтому и была выбрана операционная система Windows-9x/2k/XP.

В качестве языка программирования использовался объектно-ориентированный язык C++, а компилятор - Borland C++ version 5. Данный компилятор обеспечивает реализацию всех возможностей операционной системы Windows, в том числе 32-х разрядный доступ к данным и вызов API-функций.

Общая длина кода программы NaviMap и программ-утилит составляет около 15000 строк на языке C++.



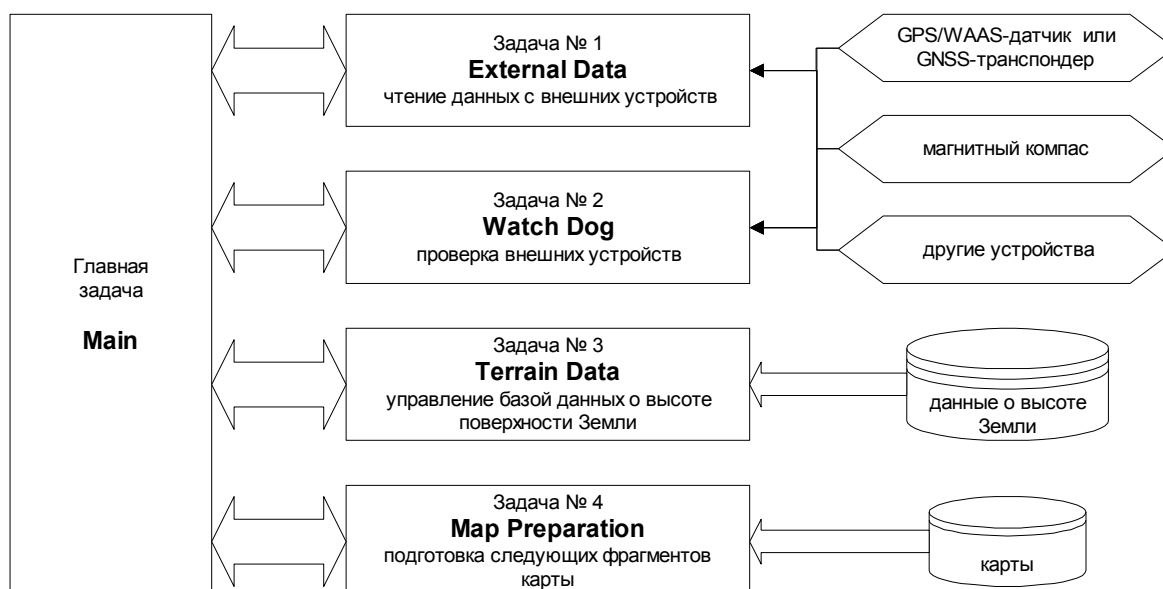


Рис. 1. Внутренняя реализация программы NaviMap.

Для наиболее эффективного конструирования программы NaviMap использовалась мультизадачность (или многопоточность) с заданием различных приоритетов. Это дало возможность минимизировать время реакции Data программы на действия пилота и при этом не создавать больших пиковых нагрузок на компьютер. С этой целью программа NaviMap была разбита на пять задач (или в терминах Windows – на пять потоков). Блок-схема внутренней реализации программы NaviMap представлена на рис. 1.

Кратко рассмотрим назначение каждой из пяти задач-потоков, при помощи которых и реализована программа NaviMap.

Главная задача “**Main**” обеспечивает взаимодействие с операционной системой, управляет остальными потоками, то есть задачами №1-4, реализует интерфейс с человеком, выводит данные на дисплей. Эта задача работает под управлением Windows. В свою очередь, задача “Main” запускает, приостанавливает, завершает работу задач №1-4. Задача “Main” обладает общими участками памяти с операционной системой, а также общими участками памяти с задачами №1-4.

Задача “**External Data**” читает данные из внешних устройств, подсоединенных к бортовому компьютеру при помощи серийных портов RS-232. Эти данные обрабатываются и записываются в общую память, доступную для чтения другими задачами.

Программа NaviMap допускает одновременное подсоединение следующих внешних устройств.

1. ГЛОНАСС/GPS/WAAS (GPS, ГЛОНАСС или GPS+ГЛОНАСС) датчик, передающих данные о положении и скорости потребителя. Также может использоваться GNSS-транспондер, который передает данные о координатах как самого потребителя, так и

других потребителей, оборудованных такими же транспондерами. Это дает возможность следить за перемещениями иных потребителей – например, выявить опасное сближение самолетов.

2. Электромагнитный компас позволяет определить магнитный курс потребителя, поскольку GPS-измерения дают большую погрешность в вычислении курса.
3. Специальные поисковые устройства, передающие информацию о другом объекте.

Задача “**Watch Dog**” – оповещает о новом подключенном устройстве.

Задача “**Terrain Data**” обеспечивает чтение данных о высоте поверхности Земли из специальной базы данных. Это необходимо для того, чтобы пилот мог узнать истинную высоту над поверхностью Земли.

Задача “**Map Preparation**” направлена на повышение быстродействия работ, связанных с загрузкой фрагментов карты в оперативную память компьютера. Эта задача на основе прогноза движения потребителя определяет, какие фрагменты карты потребуются в будущем. Задача обеспечивает чтение нужных фрагментов карты с дискового носителя и загружает в оперативную память. Применение такого приема делает совершенно незаметным для пилота моменты перехода на новые фрагменты карты.

### ***3. Окно NaviMap***

Теперь рассмотрим, какая информация выводится на экран дисплея программой NaviMap.

На рис. 2 показано окно программы NaviMap при горизонтальном расположении экрана, то есть используется обычный VGA режим с разрешающей способностью 640x480. Весь экран занимает текущий фрагмент карты, тип которой был выбран пилотом. Выводимый фрагмент выбирается таким образом, чтобы его центр совпадал с текущим положением потребителя.

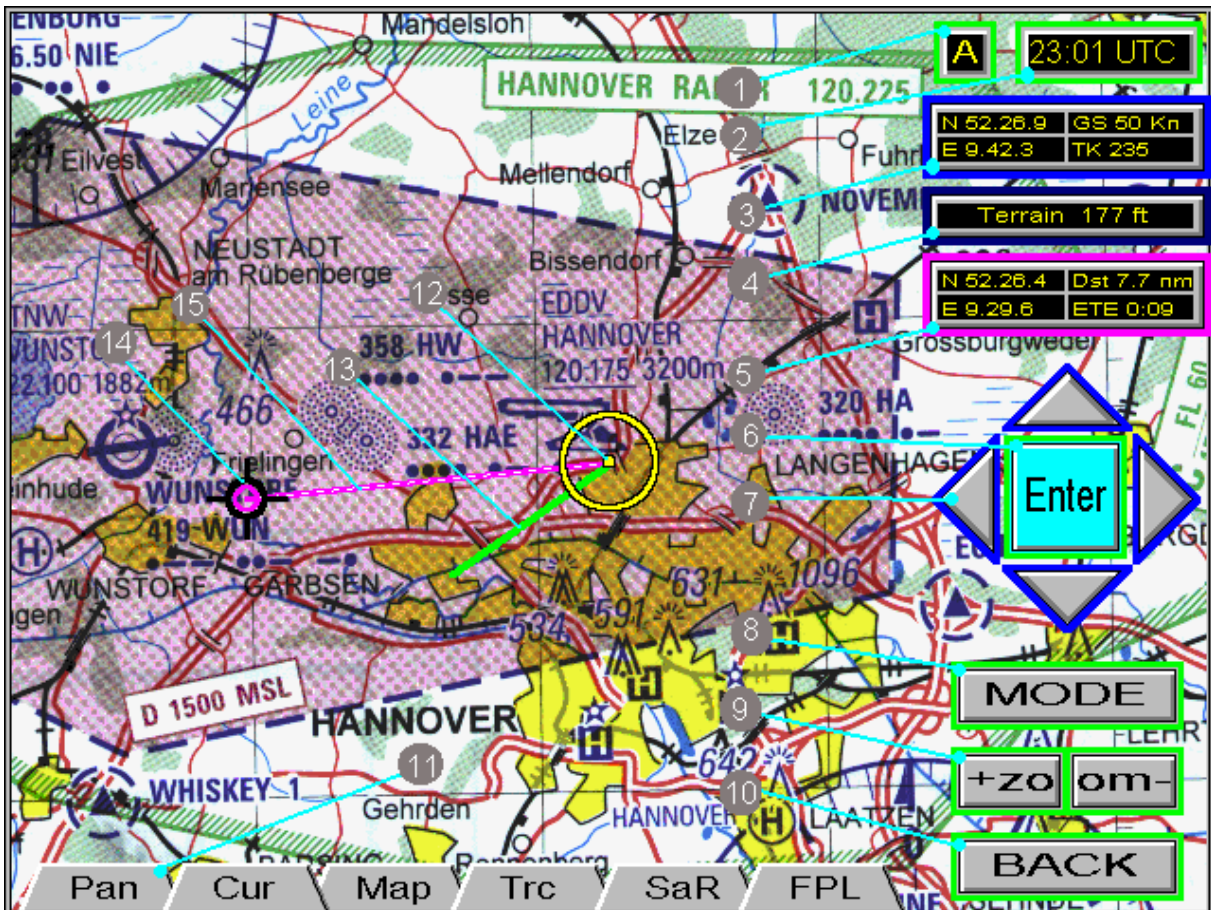


Рис. 2. Окно NaviMap, графический режим 640x480.

Программа NaviMap выводит на экран дисплея следующие данные, обозначенные на рисунке числами с 1 по 15. Функционально кнопки управления расположены в правой части экрана.

1 – индикатор-кнопка корректности принимаемых данных. Возможные значения:

- А – данные корректны, обычный режим GPS-навигации;
- D – данные корректны, дифференциальный GPS режим;
- E – данные некорректны либо отсутствуют.

При нажатии на эту кнопку принудительно опрашиваются неработающие датчики на предмет возможного восстановления работы.

8 – индикатор-кнопка текущего времени.

9 – индикатор-кнопка предназначен для вывода текущих географических координат потребителя: широты, долготы, а также скорости и курса потребителя.

10 – индикатор-кнопка выводит информацию о высоте поверхности Земли над уровнем, соответствующим модели WGS-84. Индикатор может также выводить текущую высоту самолета над поверхностью Земли, то есть реальную высоту полета.

- 11 – индикатор-кнопка предназначен для вывода географических координат путевой точки WPT (WayPoint), обозначенной под номером 14. Индикатор выводит также расстояние до путевой точки в милях и время пути до нее.
- 12 – индикатор-кнопка ввода доступной команды, как например, Enter, для данного режима работы программы.
- 13 – кнопки перемещения “влево”, “вверх”, “вправо”, “вниз”.
- 14 – кнопка изменения текущего режима.
- 15 – кнопка масштабирования.
- 16 – кнопка изменения текущего режима. При нажатии на эту кнопку происходит возврат к предыдущему режиму либо откат (“Undo”) в произведенных действиях.
- 17 – кнопки-закладки позволяют выбрать режим работы NaviMap непосредственно без пролистывания всех режимов.
- 18 – текущее положение потребителя; радиус большого круга равен 1 NM.
- 19 – линия направления движения потребителя.
- 20 – путевая точка.
- 21 – линия направления движения для достижения путевой точки.

Теперь рассмотрим основные режимы программы NaviMap. Всего в программе десять режимов. Причем некоторые режимы можно использовать только в том случае, если доступны соответствующие данные.

Назначение режима **PAN** – обеспечивать просмотр карт. Листание карты осуществляется при помощи нажатия на всплывающие стрелки-указатели. Данный режим также позволяет поменять движение карты при неподвижном символе-объекте на движение самого объекта при неподвижной карте.

Режим **Cursor** предназначен для установки путевой точки WPT.

Режим **Map** позволяет изменить тип карты. В текущей версии программы NaviMap доступны карты: ICAO, Jeppesen, Die Generalkarte, топографические карты и планы некоторых городов.

Режим **DF** позволяет осуществлять поиск различных объектов, снабженных соответствующей аппаратурой. В этом режиме программа NaviMap выводит на экран дополнительную информацию, которая и позволяет найти искомый объект.

Режим **Trace** позволяет пилоту просмотреть свой пройденный маршрут на карте.

Режим **SaR** предназначен для проведения поисково-спасательных работ и не требует подключения дополнительных внешних устройств. В этом режиме пользователь должен выбрать

район, где находится искомый объект, а также маршрут поиска. То есть работа штурмана по прокладке маршрута для поисковой операции выполняется программой NaviMap в режиме SaR.

Режим **Event** позволяет “помечать” на карте какие-либо пройденные точки или ранее установленные путевые точки специальными флажками.

#### **4. NaviMap – навигация в режиме посадки**

Как уже отмечалось, повышение безопасности посадки является важнейшей задачей навигации по цифровым картам. Поэтому этой задаче уделяется особое внимание. Программа NaviMap обеспечивает пилота всей необходимой информацией как для подготовки посадки, так и при осуществлении самой посадки. Эта информация доступна при использовании режима Approach.

Обычно пилот до совершения полета знакомится с условиями и расположением взлетно-посадочной полосы. Но при изменении маршрута, например, при плохих погодных условиях или при возникновении внештатной ситуации, пилоту уже в процессе полета надо узнать о расположении аэродромов и посадочных условиях. Программа NaviMap в режиме Approach позволяет просмотреть расположение ближайших взлетно-посадочных полос. Далее, пилот может ознакомиться с подробной картой взлетно-посадочной полосы: тип, длина и расположение полосы, их количество, направление захода на посадку. Для этого пилоту достаточно выбрать интересующий аэродром при помощи функции Select. На рис. 3 показаны данные о взлетно-посадочной полосе, в том числе ее геометрические данные.

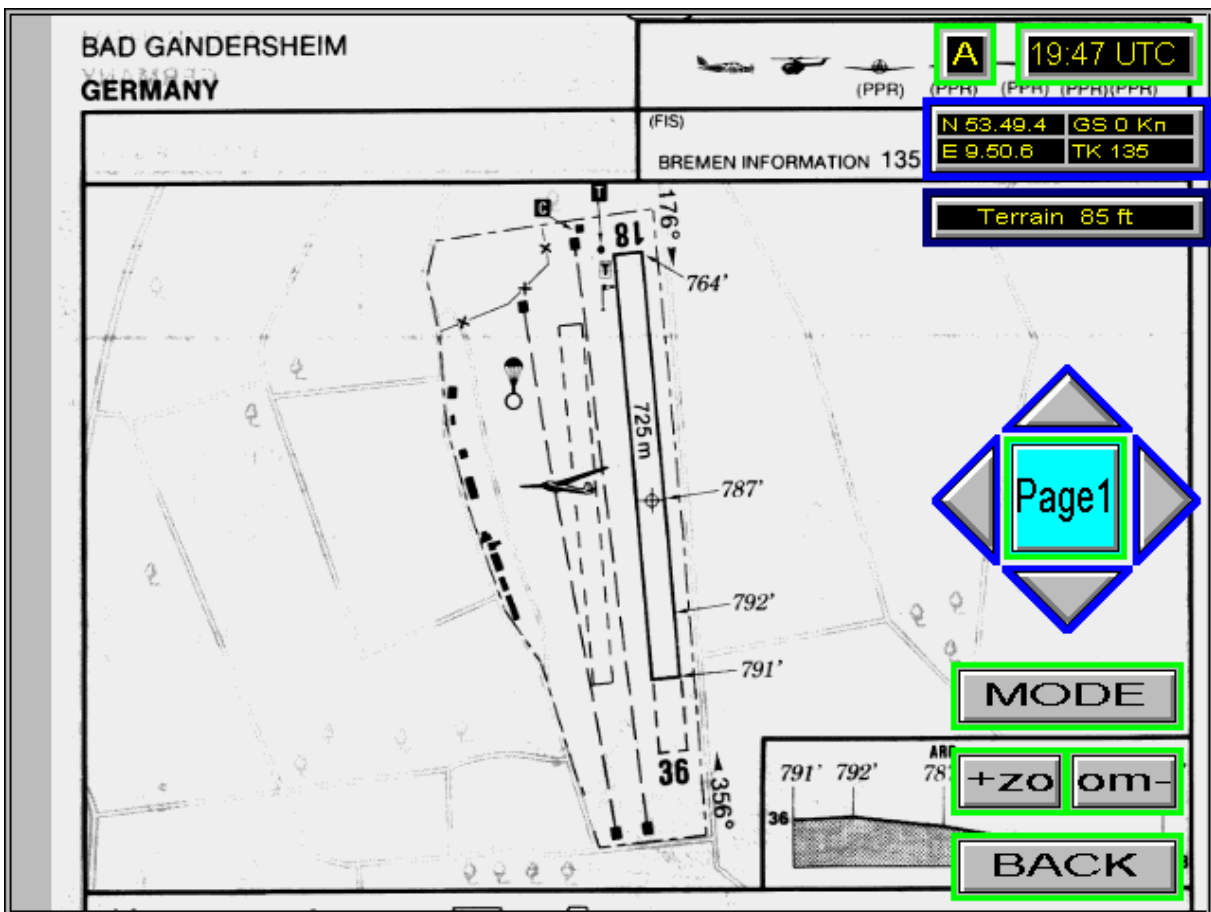


Рис. 3. Окно NaviMap – режим Approach.

Таким образом, при помощи программы NaviMap пилот может получить всю информацию о взлетно-посадочной полосе и нет необходимости использовать для этого бумажные карты аэродромов.

Применение GPS/WAAS системы обеспечивает определение положения самолета с высокой точностью – до 7-10 м как в горизонтальной плоскости, так и по высоте. Это дает возможность осуществить навигацию по цифровым картам не только в процессе полета, но и при посадке самолета. Программа NaviMap предоставляет пилоту такую возможность.

После выбора аэродрома пилот осуществляет движение самолета в направлении этой посадочной полосы. Понятно, что при посадке самолета необходимо как можно больше разгрузить пилота от решения второстепенных задач и дать ему возможность сосредоточиться на главной задаче. Поэтому в программе NaviMap переключение типа карты – с маршрутной на терминальную – происходит автоматически. Для этого пилоту надо заблаговременно, после выбора аэродрома и выяснения тактико-технических характеристик взлетно-посадочной полосы включить функцию Map+.

На рис. 4 показана такая ситуация, когда осуществляется пилотирование в направлении аэродрома Uetersen и включено автоматическое переключение на терминальную карту. И когда терминальная карта взлетно-посадочной полосы станет доступной, то есть объект будет находиться рядом с аэродромом, в окне программы NaviMap положение самолета будет показано на фоне терминальной карты. Иными словами, навигация самолета будет осуществляться при помощи цифровой терминальной карты взлетно-посадочной полосы.

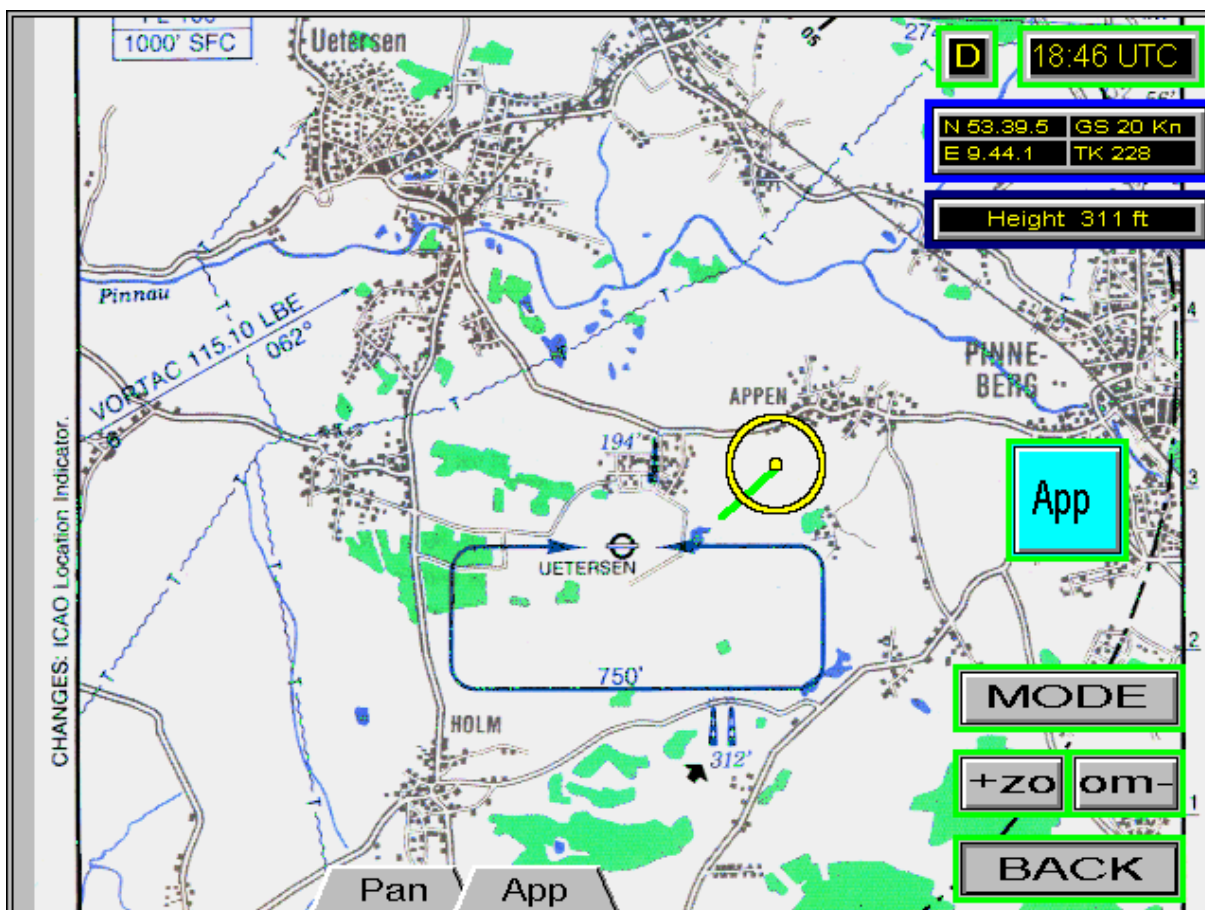


Рис.4. Окно NaviMap – режим Approach, навигация по терминальной карте.

Рекомендуется при посадке включить режим показа высоты полета самолета над поверхностью Земли. Это даст возможность пилоту получать данные о расстоянии до поверхности Земли.

Таким образом, применение при пилотировании навигации по терминальной карте, предоставляемой NaviMap в режиме Approach, обеспечивает пилота посадочными данными, удобными для восприятия и объединяющие карту, высотомер, указатель курса и показатель текущей скорости.



### 5. Навигация с использованием GNSS-транспондера

GNSS-транспондер представляет собой устройство, объединяющее в себе GPS-сенсор и радиопередатчик / радиоприемник, работающие в VHF или UHF диапазоне. Каждый транспондер постоянно передает на базовую станцию свои координаты. А принимает он, во-первых, дифференциальные поправки от базовой станции, и, во-вторых, данные о положении других объектов, снабженных такими же устройствами. Это дает возможность осуществлять мониторинг за всеми объектами каждому потребителю, оборудованному GNSS-транспондером. Блок-схема навигации на основе GNSS-транспондеров представлена на рис. 5.

Область действия такой навигации ограничена зоной действия дифференциальных поправок и возможностями радиоканала, что составляет расстояние около 200 км от базовой станции.

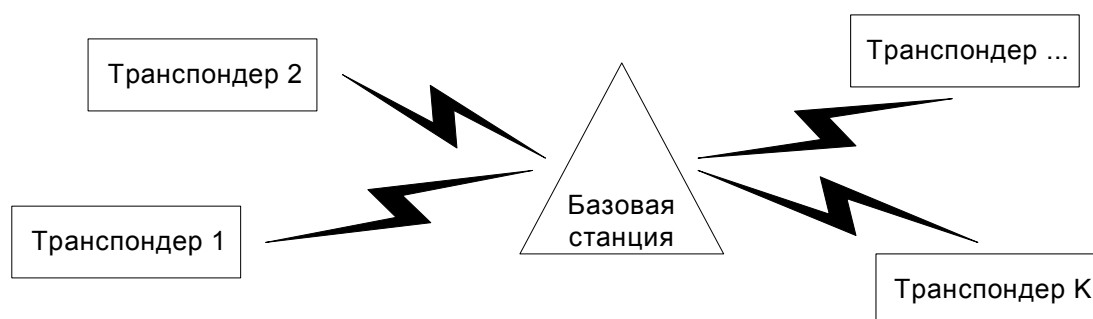


Рис. 5. Навигация на основе GNSS-транспондера.

Применение программы NaviMap для мониторинга за движущимися объектами, снабженными GNSS-транспондерами, показано на рис.6.



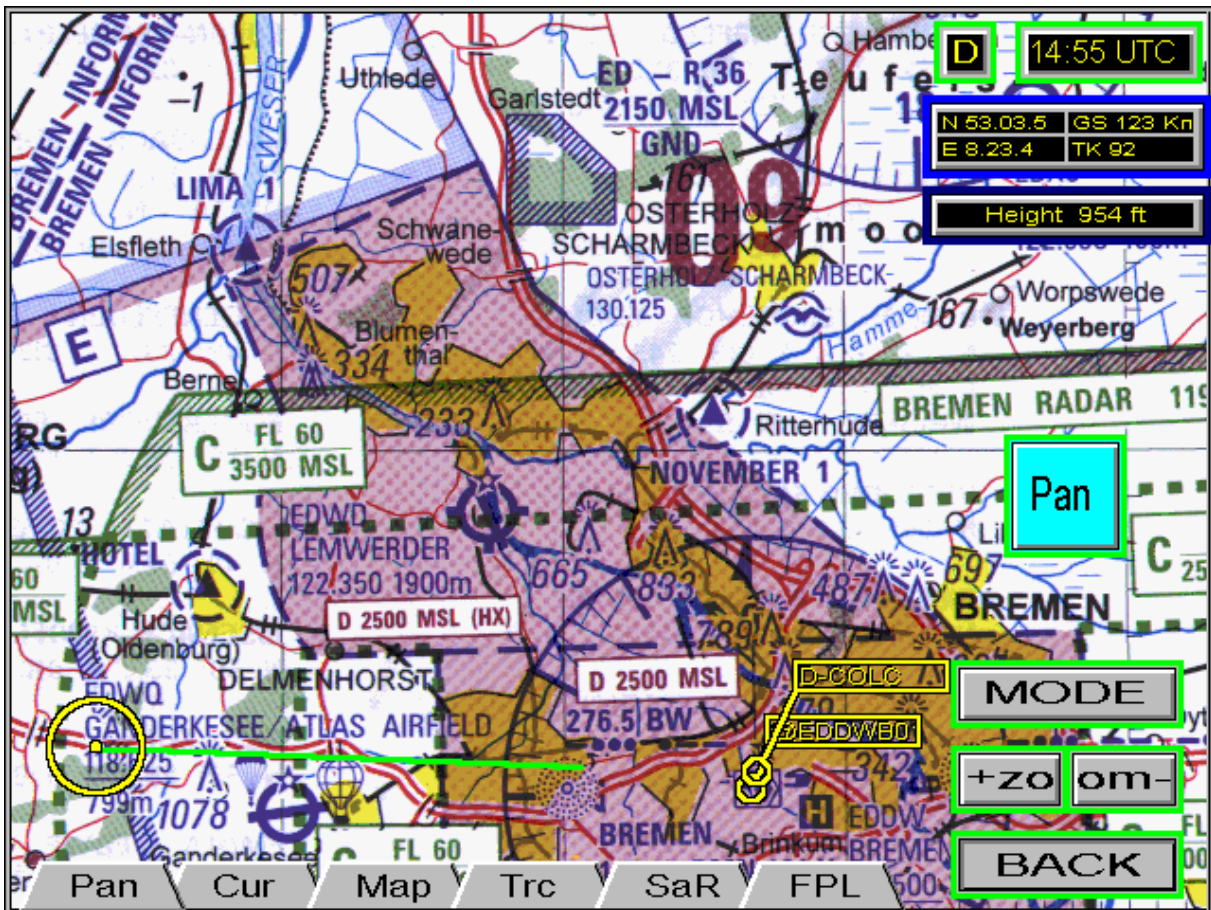


Рис. 6. Мониторинг NaviMap с использованием GNSS-транспондеров.

Данные, представленные на рис. 6 были получены на основе тестового полета. Дата полета – 17/7/97, длительность около 30 минут. Маршрут полета таков: взлет с аэродрома Ganderkesee (N 53.01° E 8.5°), облет населенного пункта Oldenburg и посадка на тот же аэродром. Из рис. 6 видно, что в районе Bremen находятся два объекта, идентификационные имена которых “@EDDWBO” и “D-COLC”. Помимо мониторинга, программа NaviMap может сигнализировать об опасном сближении потребителя с каким-то объектом – например, передавать дополнительную текстовую, графическую или звуковую информацию. В данном варианте программы предусмотрена индикация всех объектов, расстояние до которых меньше 50 NM. В случае, если какой-нибудь объект перестает двигаться (что означает приземление самолета или вертолета), то интенсивность цвета символа этого объекта уменьшается, а затем и вовсе этот объект не показывается на карте. Это сделано, чтобы не выводить на экран дисплея малоинформативные данные и тем самым улучшить восприятие визуальных данных.

В заключение отметим, что демонстрационная версия программы NaviMap доступна при помощи Интернета [12].

## ***Выводы***

Предложена концепция построения программного обеспечения бортового навигационного компьютера, реализующего визуализацию в реальном масштабе времени текущего положения потребителя на карте. Для повышения безопасности пилотирования и эргонометрических характеристик в бортовом навигационном компьютере используется реагирующий на нажатие дисплей touch-screen.

Разработана программа NaviMap, осуществляющая навигацию авиационного потребителя по цифровой карте. Программа, функционирующая в режиме реального времени, состоит из нескольких потоков, выполняемых одновременно и имеющих различные приоритеты. Благодаря этому программное обеспечение обладает высоким быстродействием и надежностью.

Особенностью программы NaviMap является обеспечение пилота всей необходимой информацией как для подготовки посадки, так и при осуществлении самой посадки. Данная программа также позволяет осуществить мониторинг за всеми движущимися объектами, оборудованными GNSS-транспондерами.

## ***Список литературы***

1. Харисов В.Н., Перов А.И., Болдин В.А. и др. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. - М.:ИПРЖР, 1999. - 560 с.
2. Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment. - RTCA/DO-229B, 1998. - 253 p.
3. NAVSTAR GPS User Equipment Introduction, September 1996. - <http://www.navcen.uscg.mil/gps/geninfo/gpsdocuments/> (12.11.01).
4. GPS moving map software. - [http://www.landings.com/\\_landings/pages/gps-tech.html](http://www.landings.com/_landings/pages/gps-tech.html) (10.04.03).
5. Интернет-страница Scandinavian Airlines System. - <http://www.scandinavian.net/> (10.04.03).
6. Интернет-страница Trimble Navigation. - <http://www.trimble.com> (10.04.03).
7. Интернет-страница GARMIN International. - <http://www.garmin.com> (10.04.03).
8. Проспект фирмы FURUNO "Company profile". - <http://www.furuno.com> (10.04.03).
9. Проспект фирмы Транзас "Индикатор навигационной обстановки АБРИС". - <http://www.transas.com> (10.04.03).
10. Fugawi Navigation Software. - <http://www.fugawi.com> (10.04.03).
11. Jeppesen Sanderson Inc. - <http://www.jeppesen.com> (10.04.03).
12. Интернет-страница NaviMap. - <http://www.kurshin.orc.ru> (10.04.03).

### ***Сведения об авторах***

*Малышев Вениамин Васильевич, профессор, зав. кафедры системного анализа и управления Московского авиационного института (государственного технического университета), д.т.н.; телефон: 158-4355, e-mail: mai604@online.ru*

*Куршин Владимир Викторович, с.н.с. кафедры системного анализа и управления Московского авиационного института (государственного технического университета), к.т.н.; телефон: 158-4355, e-mail: mai604@online.ru*