

# Исследование способов повышения точности позиционирования за счет дополнительных наземных средств

А.Н.Вьюнова, О.В.Золотарев

[ol-zolot@yandex.ru](mailto:ol-zolot@yandex.ru)

АНО ВО «Российский Новый Университет», Москва, Россия

*В настоящее время проблема совершенствования спутниковых навигационных систем обрела достаточную популярность. Это обусловлено тем, что очень много как гражданских, так и военных объектов так или иначе связаны со спутниками (навигаторы у гражданских лиц, системы слежения в военной сфере и т.д.). К сожалению, при внедрении спутниковых навигационных систем в различные отрасли, приходится сталкиваться с рядом проблем. А именно, с очень низкой точностью позиционирования необходимых объектов. Это связано с динамичностью и подвижностью спутников относительно Земли. Именно поэтому для повышения точности позиционирования вводятся наземные стационарные объекты. В связи с вышерассмотренными проблемами, тема работы является достаточно актуальной на сегодняшний день.*

**Ключевые слова:** спутниковые навигационные системы, ГЛОНАСС, NAVSTAR, GPS.

## Investigation of ways to improve positioning accuracy using additional ground means

A.N.Viunova, O.V.Zolotarev

[ol-zolot@yandex.ru](mailto:ol-zolot@yandex.ru)

ANO HE «Russian New University», Moscow, Russia

*Currently, the problem of improving satellite navigation systems has gained sufficient popularity. This is due to the fact that a lot of both civilian and military objects are somehow connected with satellites (navigators for civilians, tracking systems in the military sphere, etc.). Unfortunately, when implementing satellite navigation systems in various industries, one has to face a number of problems. Namely, with very low positioning accuracy of the required objects. This is due to the dynamism and mobility of satellites relative to the Earth. That is why stationary ground objects are introduced to improve positioning accuracy. In connection with the above problems, the topic of the work is quite relevant today.*

**Keywords:** satellite navigation systems, GLONASS, NAVSTAR, GPS.

### 1. Введение

Спутниковые Навигационные Системы (СНС) - специальный комплекс космических и наземных технических средств, программного обеспечения и технологий, предназначенных для решения широкого круга актуальных задач, связанных, прежде всего с оперативным и точным определением местоположения относительно Земного сфероида человека, транспортных средств, технических систем и объектов при решении навигационных, оборонных, инженерно-геодезических, геологоразведочных, экологи-

ческих и других задач [1, стр. 860-865].

Спутниковые навигационные комплексы, созданные впервые в США - «NAVSTAR» (рис. 1) и в СССР - «ГЛОНАСС» (рис. 2) (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система), вошли в международную практику решения военных, навигационных, инженерных и других проблем под названием "Global Positioning System» («GPS») или дословно - Глобальная Система Позиционирования (местопределения). Поэтому в дальнейшем Спутниковые Навигационные Системы (СНС) будем называть, используя международную аббревиатуру («GPS») [2, стр. 88-99].

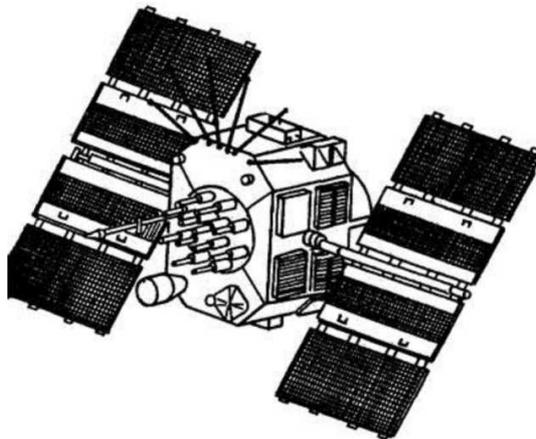


Рис. 1. Навигационный спутник NAVSTAR

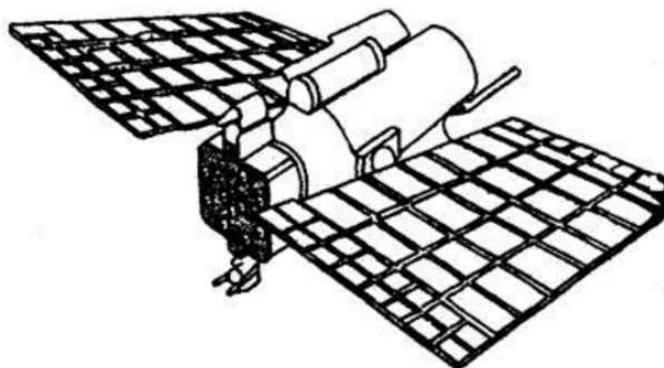


Рис. 2. Навигационный спутник ГЛОНАСС

Возможность оперативного определения координат местоположения имеет столь существенное значение в жизни современного человечества, что системы «GPS» рассматривают как «Новое достояние цивилизации». Появление спутниковых навигационных систем, уже ставших доступными рядовому пользователю, безусловно, предопределяет в ближайшем будущем качественное изменение содержания и методов производства большинства видов инженерно-геодезических работ.

Принципы функционирования «GPS» основаны на определении местоположения по расстояниям до группы высокоорбитальных навигационных искусственных спутников Земли, выполняющих роль точно координированных точек отсчета (подвижных пунктов геодезической сети) [3, стр. 29-36].

Каждая из систем спутниковой навигации состоит из трех самостоятельных подсистем: *A*, *B* и *C*.

*A* - подсистема орбитального комплекса, состоящая из высокоорбитальных искусственных спутников Земли и средств вывода их на орбиты. Каждый спутник имеет на борту несколько высокоточных атомных часов - эталонов частоты. Спутники постоянно транслируют координатные радиосигналы и навигационные сообщения и создают тем самым единое глобальное навигационное поле.

Создание в нашей стране орбитального комплекса «ГЛОНАСС» штатного состава из 24 навигационных спутников было начато в октябре 1982 г. и завершено в декабре 1995 г. [4, стр. 81]. Искусственные спутники «ГЛОНАСС» равномерно распределены в трех орбитальных плоскостях, разнесенных относительно друг друга на  $120^\circ$ . Плоскостям соответственно присвоены номера 1, 2 и 3 с возрастанием в сторону вращения Земли, при этом номинальные значения абсолютных долгот идеальных плоскостей зафиксированы:  $215^\circ 15' 00'' + 120^\circ(i-1)$ , где  $i$  - номер орбитальной плоскости.

Номинальные расстояния между соседними спутниками «ГЛОНАСС» по аргументу широты составляют  $45^\circ$ . Спутникам 1-й орбитальной плоскости присвоены номера с 1 по 8, спутникам 2-й орбитальной плоскости - с 9 по 16 и спутникам 3-й орбитальной плоскости - с 17 по 24. Орбитальные плоскости сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на  $15^\circ$  (рис. 3) [5, стр. 10].

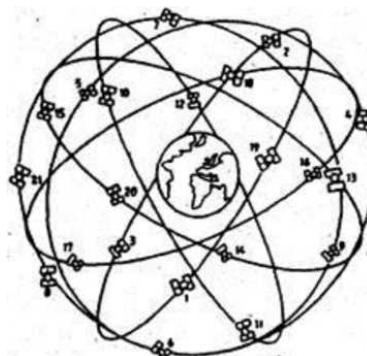


Рис. 3. Спутниковая навигационная система NAVSTAR

Навигационные спутники системы NAVSTAR размещены в шести орбитальных плоскостях, по четыре спутника в каждой (рис. 4).

Высота орбиты навигационных спутников системы «ГЛОНАСС» - 19-100 км, системы «NAVSTAR» - 20-180 км.

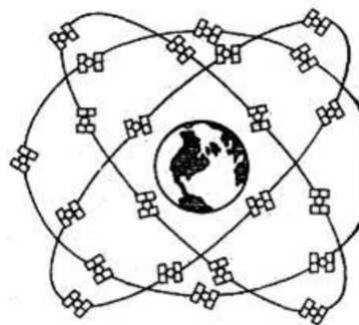


Рис. 4. Спутниковая навигационная система ГЛОНАСС

Период обращения спутников системы «ГЛОНАСС» - 11 часов 15 минут 44 секунды, системы «NAVSTAR» - 12 часов.

Наклонение орбиты системы «ГЛОНАСС» -  $64,8^\circ$ , системы «NAVSTAR» -  $55,0^\circ$ .

Такая конфигурация орбитальной структуры спутниковых навигационных систем обеспечивает глобальную и непрерывную зоны действия системы, а также оптимальную геометрию взаимного расположения спутников для повышения точности определения координат.

Навигационные спутники систем «GPS» непрерывно излучают радиосигналы различной точности. Так, для системы «ГЛОНАСС» предусмотрены нави-

гационные сигналы двух типов:

Высокой точности (ВТ) - предназначен исключительно для решения задач Министерства Обороны РФ.

Стандартной точности (СТ) - доступен всем потребителям.

Для системы «NAVSTAR» предусмотрены навигационные сигналы трех типов [6, стр. 27]:

1. Protected (P-code) - защищенный, предназначенный прежде всего для нужд МО США.

2. Selective Availability (S/A) - избирательной доступности, преднамеренно создавая значительный и непредсказуемый уход спутниковых часов создает значительные ошибки в определении местоположения для общегражданского круга пользователей.

3. Clear Acquisition (C/A) - легкой распознаваемости, т. е. - это общегражданский код.

**Б** - наземная подсистема контроля и управления состоит из группы станций слежения, нескольких станций загрузки на ИЗС и главной станции. Эта подсистема осуществляет мониторинг целостности системы и является первичным источником информации, поставляемой пользователям. Ее основными задачами являются:

- контроль за работой навигационных ИЗС;
- сбор информации для определения и прогноза орбит (эфемерид);
- формирование единой временной системы всего орбитального комплекса и ее синхронизация относительно Всемирного времени и экспортирование данных в память бортовых компьютеров навигационных ИЗС.

Орбитально-временная информация закладывается в память ИЗС дважды в сутки, что обеспечивает высокую точность навигационных определений.

**В** - подсистема пользователей состоит из комплекса аппаратно-программных средств, реализующих основное назначение «GPS» - определение координат для геодезического применения.

Главными факторами широкого использования аппаратуры пользователей «GPS» являются:

- всепогодность;
- оперативность первого определения координат (менее 3 минут от включения приемника);
- непрерывность определения координат (каждые 0,5 с);
- малые габариты и вес приемников;
- малая энергоемкость;
- простота эксплуатации;
- высокая точность;
- сравнительно небольшая стоимость.

Данные позиционирования представляются в любом удобном для пользователя цифровом виде: в различных географических системах координат или в любой прямоугольной системе координат с возможностью описания и систематизации объектов позиционирования.

В настоящее время спутниковые навигационные системы уже нашли широкое применение в следующих областях: военной; на космическом, воздушном, морском, речном, автодорожном, железнодорожном и других видах транспорта; в геодезии, картографии, океанографии; при производстве геофизических и

геолого-разведочных работ; в лесном хозяйстве и землеустройстве; в рыболовном хозяйстве; в экологическом мониторинге; в научно-исследовательских работах, в том числе, фундаментальных и других сферах человеческой деятельности.

## 2. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных спутниковых навигационных систем

Система навигации ПНО решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и обеспечивает выдачу следующих данных: горизонтальных координат (координат), высоты, скорости, углов ориентации (крена, курса, тангажа) [7, стр. 298-302]. Обобщенная структурная схема навигационной системы ПНО представлена на рис. 5.

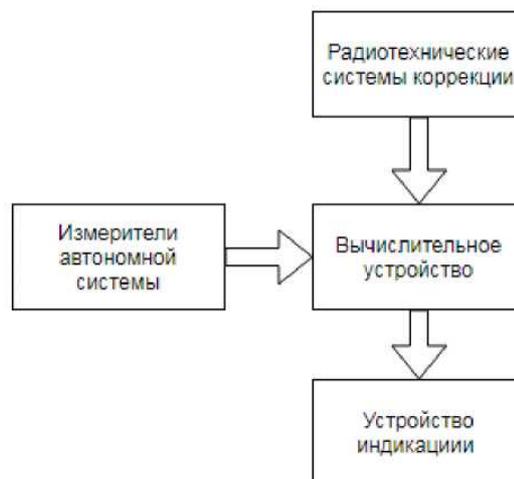


Рис. 5. Обобщенная структурная схема навигационной системы ПНО

Измерители автономной системы предназначены для определения координат, параметров движения и пространственного положения продольных осей ПНО. В качестве измерителей могут быть использованы следующие устройства: - измеритель ускорения и углов крена и тангажа - инерциальная навигационная система (входит в состав большинства навигационных систем). Инерциальная навигационная система может быть платформенного и бесплатформенного типа.

Измеритель магнитного поля Земли: 3-осный магнитометр (система «КомпаНав-2М», Екмох-N); измеритель скорости, выполненный в виде механического («Гамма - 1») или доплеровского датчика скорости («ГАЛС - Д2М») измеритель высоты - барометрический высотомер (система «КомпаНав-3»); измеритель пройденного пути, который может выполняться в виде одометра (система «БИНС-Тек», «Азимут», Ellipse-N). В качестве радиотехнической системы коррекции обычно используется приемник спутниковой навигационной системы (СРНС) (ГЛОНАСС/GPS) и радиотехнические системы дальней навигации «Чайка» и «LORAN-C», входящие в состав системы «ОРИЕНТИР» и КС-100М. Обзор дополнительных средств, используемых для по-

вышения точности позиционирования, для различных отраслей.

Основным радиотехническим измерителем (РТИ) навигационных систем ПНО является спутниковая радионавигационная система (СРНС), установленная на объекте в виде многоканального приемника сигналов. При пропадании данных СРНС происходит значительный рост погрешностей в определении координат местоположения, погрешности не удовлетворяют предъявляемым требованиям, поэтому необходимо предложить пути повышения качества работы навигационных систем (надежности, помехозащищенности, точности получаемых данных).

Рассмотренные направления повышения качества работы предполагают введение новых устройств в состав навигационной системы. В настоящее время данное направление реализуется за счет введения новых РТИ в состав системы. Роль нового устройства, которое может быть использовано в составе навигационной системы ПНО, могут выполнять системы сотовой связи вследствие их широкого распространения в большинстве городов. Она может применяться для повышения точности позиционирования в качестве дополнительной системы с СРНС. При их использовании в зависимости от применяемой технологии определения местоположения, возможно, получить точность до 50 м. Возможно, так же применение наземных радиосистем дальней навигации и систем ближней радионавигации (СБРН) для получения координат местоположения в зонах, где вследствие совокупности факторов невозможна корректная работа систем сотовой связи и СРНС. Однако их использование сопряжено с недостатками, среди которых низкая точность определения дальности. Точность позиционирования зависит от скорости распространения поверхностной волны и геометрического фактора.

Повысить качество работы навигационной системы ПНО возможно за счет повышения точности данных получаемых от используемого в большинстве систем приемника СРНС. Точность данных возможно повысить за счет использования дифференциального режима работы и использования сигналов псевдоспутников [8].

Дифференциальный режим работы СРНС может быть реализован за счет специального программного обеспечения и оборудования, устанавливаемого в навигационной системе, позволяющего получать сигналы от СРНС и поправки от систем дифференциальной коррекции с дальнейшей их обработкой и выдачей уточнения данных СРНС потребителю. Дифференциальный режим работы СРНС в настоящее время широко используется в навигационных системах подвижных наземных объектов иностранного производства и позволяет снизить погрешности позиционирования. В навигационных системах подвижных наземных объектов отечественного производства дифференциальный режим работы СРНС реализован только в серии систем ГАЛС-Д2М.

Надежная высокоточная навигация наземных средств может быть обеспечены за счет создания в локальном районе дополнительных радионавигаци-

онных полей на основе псевдоспутников (ПС) [9, стр. 47-49]. Локальные радионавигационные системы (ЛРНС) на основе псевдоспутников (ЛРНС ПС) предназначены для обеспечения высокоточной навигации в условиях затруднения приема сигналов СРНС вследствие непреднамеренных и преднамеренных помех и позволяют обеспечить точность позиционирования до 10 см за счет отсутствия у наземных псевдоспутников ионосферных и эфемеридных погрешностей. ЛРНС представляют собой наземные дополнения к СРНС на основе наземных ПС, излучающих сигнал, схожий по параметрам с навигационным сигналом GPS/ГЛОНАСС, который может быть принят обычным приемником GPS/ГЛОНАСС, подверженным минимальным модификациям программной части (в частности с него должна быть снята защита от приема сигналов спутников, находящихся на земле) и являются стационарными излучателями GPS-сигналов со значительно меньшей мощностью сигнала и, соответственно, меньшим радиусом действия.

Анализ характеристик точности местоопределения при использовании только ПС без учета орбитальной группировки навигационных космических аппаратов (НКА), что соответствует условиям, когда по каким-либо причинам (подавление, сложный рельеф местности и т. д.) невозможно осуществить прием сигналов СРНС. Для ЛРНС ПС, которая включает шесть ПС, четыре из которых расположены в углах квадрата 10x10 км, а еще два ПС подняты на высоту 20 м и находятся внутри квадрата на расстоянии 4 км друг от друга, Плоская погрешность местоопределения не превышает 6 см.

При выборе новых РТИ необходимо помнить следующее: - Система сотовой связи в настоящее время не может стать альтернативой СРНС, так как они так же не лишены недостатков, главный из которых в том, что указанные технологии не функционируют в местах вне покрытия сотовых сетей. Влияние так же может оказать рельеф местности, количество базовых станций и высота вышек сотовой связи; - В настоящее время только наземные радиосистемы дальней навигации входят в состав производимых навигационных систем таких систем как «КС-100М» и «Ориентир», системы сотовой связи, и СБРН используются пока на уровне экспериментов; - Включение в состав навигационной системы дополнительного РТИ (системы сотовой связи) не приведет к значительному снижению погрешностей позиционирования при комплексной обработке данных от неё и СРНС.

Использование дополнений к СРНС связано со следующими недостатками: - Использование дифференциального режима связано с необходимостью создания единой контрольно-корректирующей сети станций и каналов связи, что является очень дорогим, учета зависимости некоторых значений дифференциальных поправок (эфемеридной и ионосферной) от расстояния до контрольнокорректирующей станции; - Наземное расположение ПС не дает возможность с высокой точностью определять высоту. - Невозможность обеспечить совместное использование сигналов

ПС и спутников как в ближней зоне псевдоспутника (где подавляются сигналы от спутников), так и в дальней зоне (где сигналы псевдоспутника ослабевают до критического уровня) из-за разницы уровней принимаемых сигналов от спутников и ПС [10, стр.118-120]. Высокий уровень многолучевости для сигналов псевдоспутников, которые размещаются на (или вблизи) поверхности Земли.

Таким образом, в настоящее время повысить качество работы навигационной системы можно за счет повышения точности данных полученных от СРНС при сигналах от СРНС. Вопрос об использовании дифференциального режима работы СРНС и ЛРНС на основе ПС должен решаться в зависимости от поставленных перед навигационной системой задач и иметь практическое обоснование. Системы сотовой связи, СБРН и наземные радиосистемы дальней навигации могут применяться в качестве резервных систем в случае кратковременного пропадания сигналов СРНС при использовании соответствующего программного обеспечения.

### **3. Практическое применение спутниковых навигационных систем**

#### **3.1. Выбор сферы обзора практического применения спутниковых навигационных систем**

Спутниковые навигационные системы являются основным средством обеспечения поддержки вооруженных сил Российской Федерации. Под координатно-временным обеспечением стоит понимать сравнительно самостоятельную часть навигационной поддержки боевых действий, которая предоставляет потребителям необходимую информацию об их времени, местоположении и параметрах движения в интересах самой навигации и других видов обеспечения: картографического, топогеодезического, разведывательного, поисково-спасательного и других видов.

Исходя из особенностей потребителей координатно-временной информации, можно выделить следующие виды КВО:

- КВО в интересах неподвижных потребителей для получения текущих географических координат точки на поверхности земли или объекта для геодезического исследования местности;

- КВО в интересах подвижных потребителей с целью решения задач морской навигации, авиационной авиации, навигации на наземных транспортных средствах и управления высокоточных средств поражения воздушных, морских и наземных транспортных средств;

- КВО в интересах высокодинамичных потребителей для решения задач баллистического и использования пусковых установок, разгонных блоков, космических аппаратов и баллистических ракет;

- КВО потребителей с целью временной привязки и частотной синхронизации их действий.

В России использование навигационной аппаратуры потребителей оборудования спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС предусмотрено во всех типах вооруженных сил и военных подразделе-

ний, а также практически во всех перспективных вооружениях. Можно выделить следующие преимущества использования СНС для обеспечения высокоточного уничтожения целей, а также управления войсками [11]:

- обеспечение высокой точности уничтожения при использовании известных координат независимо от типа местности и времени года, освещенности, погодные условий, конфигурации цели и ее радиолокационных, тепловых и визуальных контрастов;

- сокращение времени подготовки к удару высокоточным оружием;

- увеличение дальности стрельбы высокоточными ракетами;

- способность координировать действия воздушных, космических, наземных и морских средств вооруженной борьбы с высокой точностью.

Важным применением НАП СНС ГЛОНАСС являются измерения траектории при запуске баллистических ракет, ракет-носителей. Использование системы измерения траектории НАП СНС ГЛОНАСС после подтверждения ее свойств позволит забросить наземный комплекс измерений траектории. При экономии как финансовых затрат, так и людских ресурсов, позволяет обеспечить глобальный характер измерений, что важно при запуске пусков в море.

Анализ существующей номенклатуры национальной НАП СНС, которая поддерживает военных потребителей в области навигации, указывает на ряд проблем в их создании и применении.

*Первая проблема* - низкое количество поставок НАП СНС, что делает фактическое оснащение военных потребителей навигационным оборудованием на несколько процентов, а производимая в отрасли НАП СНС не предлагает решения большинства проблем. Особенно острая нехватка комплектов НАП СНС с различными модификациями испытывают сухопутные войска.

*Вторая проблема* - неудовлетворительные габаритные и точностные характеристики НАП СНС. В частности, «Период» НАП, используемый для сухопутных войск, а вооружение НАП СНС «Грот», которая была принята в 2003 году, еще не получила такого широкого применения. ВВС НАП СНС, которая используется для навигационного обеспечения операций и боевых задач, имеет аналогичные недостатки. Низкоорбитальные СНС, используемые в ВМФ, не отвечают требованиям морских потребителей в отношении точности, доступности, целостности и непрерывности навигационной поддержки. НАП СНС ГЛОНАСС, которая используется в Ракетных войсках стратегического назначения для испытаний новых видов ракетного оружия, а также космических сил для баллистической навигации космических аппаратов, имеет недостатки, суть которых заключается в несоответствии между требуемыми и фактическими полученными характеристиками точности и надежности.

*Третья проблема* - необходимость ограничивать доступ к корректирующей информации потребителей, которые не имеют прав, а также во время военных операций - для предотвращения или снижения эффективности дифференциальной навигации потен-

циальным противником.

Приемники СНС могут определять координаты географических объектов, которые относятся к секретным сведениям в соответствии с Законом РФ. Формально эксплуатация этого устройства только разрешается только юридическим лицам, имеющим соответствующую лицензию. Однако это ограничение оказывает негативное влияние на использование СНС гражданскими потребителями. Более того экономические потери данного запрета значительно выше возможного вреда, который может быть вызван несанкционированным определением координат объектов получателями СНС лиц. Постановление от 29 марта 1999 года, в котором говорится, что Правительство Российской Федерации поручило федеральным органам исполнительной власти пересмотреть вышеуказанные ограничения и разработать меры по предотвращению возможного ущерба национальной безопасности, когда люди пользуются высокоточными навигационными средствами в стране.

*Четвертая проблема* - считается, возможно, самой трудной проблемой. Это технологическое отставание российской промышленности от зарубежных стран. Отечественные разработки превосходят разработки ведущих зарубежных стран. Однако в настоящее время отсутствуют микроэлектронные технологии производства отечественной элементной базы с необходимыми топологическими стандартами, необходимыми для производства современных и перспективных навигационных устройств ГЛОНАСС / GPS.

Разработка сложных устройств, представляющих собой НАП СНС и функциональных дополнений, невозможна без использования современных электронных средств и технологий. Используемые электронные компоненты полностью определяют основные характеристики устройства, такие как размеры, вес и энергопотребление.

Основными тенденциями в разработке навигационных устройств потребителей спутниковых навигационных систем являются микроминиатюризация, снижение энергопотребления и снижение затрат. Основным способом достижения этих целей является использование специализированной элементной базы, в основном специализированных больших интегральных микросхем. Отсутствие элементарной базы, необходимой для производства отечественных НАП, вынуждает производителей покупать ее за рубежом. Использование электронных изделий иностранного производства в отечественном оружии и военной технике является необходимой мерой, в связи с кризисным состоянием электронной промышленности и ее крупнейшего подсектора - микроэлектроники. В целях рационализации этого процесса в 2001 году министр обороны утвердил распоряжение об использовании электронных модулей, компонентов и строительных материалов иностранного производства в системах, комплексах, образцах оружия и военной техники и их компонентов.

1. Использование электротехнической продукции иностранного производства в образцах отечественного оружия и военной техники требует решения трех дополнительных задач.

2. Обеспечение технологической независимости.
3. Оценка соответствия требованиям.
4. Обеспечение информационной безопасности.

Наиболее эффективные технические решения в области технологий СНС достигаются только для системы GPS. Перспективные приемники этой системы основаны на двух или трех интегральных схемах. Это обеспечивает высокую производительность и низкую стоимость в сочетании с успешным функционированием GPS - и большим спросом на рынке. Из-за отсутствия специализированной элементной базы существующие приемники сигналов ГЛОНАСС СНС в 3-10 раз хуже с точки зрения энергопотребления, весовых и размерных характеристик и стоимости для приемников GPS.

Решение проблемы создания современной базы основано на внедрении перспективных микроэлектронных технологий, которые используют лучшие в мире технологии автоматизированного проектирования и массового производства электронных компонентов, и создании базовых навигационных модулей на их основе. Федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система» имеет задачу разработать и контролировать производство СБИС, радиоэлектронных компонентов и базовых модулей для НПД и функциональных расширений ГЛОНАСС/GPS. Для решения этой проблемы в качестве соэкспортеров включены отечественные компании с наибольшим научно - техническим и технологическим потенциалом. Важными целями развития являются:

1. Обеспечение энергосберегающих режимов работы.
2. Минимизация времени первого определения.
3. Обеспечение работоспособности устройства при низких уровнях сигнала СНС и эффектах помеху
4. Обеспечение высокой точности и стабильности измерений параметров первичной радионавигации.

Еще одна проблема с разработкой СНС заключается в значительной номенклатуре и различном дизайне потребительского навигационного оборудования. Из-за ограниченных финансовых ресурсов это затрудняет оснащение войск и флотов указанной техникой и требует мер по их унификации. Основными задачами должны быть:

1. Снижение затрат на создание, приобретение, эксплуатацию и техническую поддержку.
2. Уменьшение условий их создания.
3. Обеспечение системной совместимости и взаимозаменяемости средств и их компонентов.
4. Сокращение расход и уменьшение сложности обучения персонала работе с навигационными устройствами.

Образцы НАП СПС первого поколения были разработаны с учетом требований стандартизации, но в них была реализована только внутренняя стандартизация. В настоящее время они израсходовали свои ресурсы, морально устарели и бессмысленно проводить работу по их объединению. Представляется целесообразным разработать единую серию НАП на основе базовых моделей. Базовые модели НАП являются необходимым минимумом конструктивно и

программно реализованных технических решений, которые определяют конкретную область применения. Они позволяют вносить изменения в НАП с учетом определенных дополнительных требований. Каждая объединенная серия представляет эволюцию базовой модели в том или ином направлении.

*Первый.* Семейство проектных примеров, разработанных КБ «НАВИС» для решения относительно нефункциональных навигационных задач. Разрабатывается двухчастотная модификация, которая отвечает требованиям высокоточного назначения пункта назначения, а также прибрежной и ближней навигации. Также создается двухчастотная модификация для решения проблем топографической и геодезической поддержки вооруженных сил РФ.

*Второй.* Семейство шаблонов проектирования, разработанных НИИ КП для решения задач повышенной точности и эффективности, например, Топогеодезическое сопровождение ракетных и артиллерийских ударов, навигационное сопровождение работы подразделений в воздухе и специальных подразделений.

*Третий.* Семейство образцов НАП, разработанное МКБ «Компас», предназначено для решения задач ВВС.

Кроме того, существует унифицированная серия НАП СНС, разработанная ОАО РИРВ для гражданских потребителей.

Основным способом стандартизации НАЛ СНС второго поколения является межпроектная стандартизация НАЛ и средств функционального дополнения в производственной компании. Союз компаний практически не применяется. Это связано с особенностями современного дизайна и изготовления НАП производителями. Кроме того, существуют трудности в передаче оригинальных технологий для изготовления компонентов компанией-разработчиком другим компаниям. Устранение этого существенного недостатка требует решения в рамках реформы военно-промышленного комплекса.

Наиболее перспективными направлениями для стандартизации моделей НАЛ военного уровня могут быть:

- стандартизация функциональных модулей, габаритных размеров;
- стандартизация внешних и внутренних обменов информации;
- стандартизация списка и содержания стандартных процессов и процессов для подготовки, контроля, тестирования и реализации основных задач навигационных средств;
- стандартизация программного обеспечения.

Широкое использование всех форм стандартизации значительно повысит эффективность использования навигационных средств военными потребителями.

Таким образом, для улучшения поддержки полного использования потенциальных возможностей системы ГЛОНАСС необходимо иметь единое состояние и военно-техническую политику в области применения спутниковой навигационной системы. Целесообразно активизировать работу по установле-

нию единых требований к военной НАП СНС.

### 3.2. Постановка проблемы сложности точности позиционирования

Позиционирование - определение местонахождения наблюдателя или объекта наблюдения в трехмерном земном пространстве с помощью спутниковых систем.

**К достоинствам** спутниковых систем можно отнести:

- быстроту работы;
- достаточная точность и эффективность определения.

Для определения местонахождения не нужна прямая видимость между определяемыми точками.

Существуют следующие системы определения:

1. GPS (Global Positioning System), так же её название **NAVSTAR** (Navigation Satellite Timing and Ranging). В 1978 году был начат запуск первого блока спутников, а готовность к эксплуатации была объявлена в 1995 году.

2. ГЛОНАСС (Глобальная навигационная Спутниковая Система). «Разработки данной системы начаты в середине 1970-х годов, первые спутники выведены на орбиту в 1982 году, в 1993 году - принята в эксплуатацию, а в 1995 году открыта для гражданского использования, и уже только в 1996 году была развернута полностью».

В настоящее время есть устройства, использующие обе системы.

Навигационные системы предназначены для определения скорости движения, местоположения, а также точного времени морских, сухопутных, воздушных, и других видов потребителей.

«NAVSTAR и ГЛОНАСС - системы, имеющие двойное предназначение, изначально они были разработаны для нужд Министерств обороны. А это значит, что первое и основное назначение - стратегическое, второе назначение естественно - для гражданских нужд».

Все действующие ныне спутники передают два типа сигналов: стандартной точности и высокой точности для военных (этот сигнал закодирован и доступен только МО [Министерству Обороны]).

Все навигационные системы являются **независимыми** и аппаратура пользователя только принимает сигнал, не отправляя запрос на спутник.

В других странах ведутся разработки своих навигационных систем: **Gallileo** в Евросоюзе, **COMPASS** в Китае, **IRNS** в Индии [12, стр. 211].

**Выделяют три сегмента в спутниковых системах:**

- созвездие спутников;
- аппаратура для пользователей;
- оборудование наземного контроля и управления.

И в GPS, и в ГЛОНАСС **сегмент созвездий спутников** состоит из 24 спутников. ГЛОНАСС состоит только из 18 спутников на 3-х орбитах с наклоном 64,8°, на высоте 19 100 км. GPS имеет 28 спутников на 4-х орбитах с наклоном 55° и они находятся на высоте 20 180 км. Каждый спутник

имеет 4 штуки атомных эталонов частоты и времени, а так же аппаратуру для приема и передачи сигнала.

Спутники вращаются на постоянном расстоянии от поверхности Земли в своих орбитальных плоскостях на неизменной средневисотной орбите, они разбиты по группам. Для получения сигнала в любое время суток, в любой точке земной поверхности требуется использование 24-х спутников. Условно на каждое полушарие Земли выходит по 12 спутников. Воображаемую сетку над поверхностью Земли образуют Орбиты этих спутников, из-за чего выше горизонта всегда находятся минимум 4 спутника, а «созвездие» построено так, чтобы, в большинстве случаев, одновременно было бы доступно не менее 6. Полностью развёрнутая спутниковая система имеет в своём составе, по 1 в каждой плоскости, резервные спутники. Они могут быть оперативно введены взамен неисправного в случае выхода основного спутника из строя. Резервные спутники находятся в активном состоянии и также участвуют, улучшая точность позиционирования и обеспечивая стабильную работоспособность системы.

**Сегмент наземного контроля и управления** состоит из:

- главной станции с вычислительным центром;
- станций слежения за спутниками;
- службы определения точного времени;
- станций передачи данных на спутники.

Спутники системы GPS проходят над контрольными пунктами 2 раза в сутки. Главная станция - это база (штат Калифорния). Точное время определяется в обсерватории города Вашингтон. А у нашей системы ГЛОНАСС центр управления находится недалеко от Москвы.

В задачи подсистемы наземного контроля и управления входит [13]:

- контроль правильности работы спутников;
- постоянное уточнение параметров орбит;
- передача на спутники временных программ;
- передача команд управления;
- передача навигационной информации.

За спутником осуществляется наблюдение во время его пролёта в зоне видимости станции измерения, управления и контроля. Где принимаются его навигационные сигналы, производится первичная обработка данных и с центром управления системой производится обмен. На главной станции происходит математическая обработка и вычисление всех поступающих от сети управления данных, далее происходит вычисление координатных и корректирующих данных, для загрузки в бортовой компьютер спутника.

**Сегмент пользовательской аппаратуры** состоит из различного оборудования различного назначения. Навигационный приемник и устройства обработки, предназначенные для приема сигналов со спутников и вычисления координат местонахождения, а также для вычисления скорости и точного времени - из этого в общем случае состоит аппаратура. В самом простом случае - это приемник с блоком питания. Комплект оборудования для геодезических исследований включает в себя: антенну, приемник, контроллер (управляющее устройство), блок питания,

комплект кабелей, штативы, вышку для установки антенны на местности, приспособление для измерения высоты антенны и др.

### **Принцип определения координат.**

Данный принцип основан на определении и расчете расстояний от нескольких спутников системы позиционирования до точки нахождения пользовательской аппаратуры. По времени, за которое электромагнитного сигнала проходит со спутника до приемника, определяются расстояния. Сначала вычисляется расстояние от спутника № 1 до приёмника. Далее нужно представить сферу с центром из спутника 1. Далее нужно вычислить расстояние от приёмника до спутника 2. И снова представим себе вторую сферу с центром в точке нахождения спутника 2. Эти две сферы пересекутся, что и будет областью нашего предполагаемого местонахождения. Для определения точного местонахождения нам понадобится так же информация о расстоянии до спутника 3. Место пересечения 3-х воображаемых сфер и будет искомым местом нашего позиционирования. Для устранения ошибки в вычислениях и одновременно для уточнения местоположения нам необходим 4-ый спутник.

Задача вычисления своих координат пользователем - очень сложная, так как для вычисления на местности необходимо определить координаты нескольких спутников (минимум четырёх), т.е. узнать их точное местоположение в космосе относительно приёмной аппаратуры. Задача усложняется тем, что спутники постоянно перемещаются, координаты, соответственно, так же изменяются. Для быстрого подсчёта, уменьшения размеров и стоимости пользовательского оборудования, на наземные комплексы управления было возложено вычисление максимального количества объёма данных. Где по результатам наблюдений за спутниками делается прогноз изменения параметров орбиты в определенные моменты времени, при сеансе связи эти данные передаются на спутник. Зная точные координаты спутника и параметры орбиты в опорной точке, вычисляются, в любой момент времени, координаты спутника.

Эфемериды - спрогнозированные параметры орбиты и их производные [14, стр. 33]. Альманах - сведения, применяемые для выбора оптимального созвездия и поиска видимых спутников, а также сведения, о текущем состоянии системы навигации в целом, включая «загрубленные» эфемериды. Передатчики на спутнике в бесперебойном режиме с высокой частотой осуществляют передачу навигационных сообщений, в составе которых эфемериды с альманахом и метками времени [15, стр. 76-79]. Аппаратура пользователя, принимает навигационное сообщение и основываясь на память, где хранится предыдущий альманах, с максимальной скоростью и точностью определяет собственные координаты [16, стр. 211-214].

Для определения дальности существует 2 способа:  
- фазовый, определен формулой:

$$L = N \cdot \lambda + X,$$

где  $\lambda$  - длина электромагнитной волны,  $N$  - число целых волн. Точность фазового метода - менее 1 м.  
- кодовый, определен формулой:

$$L = t * c,$$

где  $c$  - скорость света,  $t$  - время прохождения сигнала. Точность кодового метода: 3-5 м

**В определении дальности существуют источники погрешности.** Погрешности зависят от препятствий на пути, от влияния ионосферы, нижних слоев атмосферы, с эффектом многолучевости, несинхронностью генерации сигналов [17, стр. 405].

*Влияние ионосферы.*

На высоте 50 - 1000 км над земной поверхностью есть свободные электроны и ионы. При взаимодействии электромагнитной волны и частиц ионосферы после прохождения радиосигнала происходит вынужденное колебание заряженных частиц. Что приводит к изменению скорости и направления распространения электромагнитной волны. При использовании волн различной длины происходит минимизация влияния.

*Влияние нижних слоев атмосферы.*

Только в вакууме скорость света постоянна, в атмосфере же она изменяется в зависимости от коэффициента преломления среды, который зависит от метеобстановки и от пути, по которому проходит сигнал (высота спутника над горизонтом). Чем ниже расположен спутник - тем у него сильнее зависимость от атмосферных явлений. Погрешность до 10 м появляется при углах в 10-15°, такие наблюдения выбраковываются. При измерениях вводится поправка на модель стандартной атмосферы.

*Несинхронность генерации сигналов на спутнике и в приемнике.* Синхронизация часов приемника и передатчика происходит в процессе инициализации приемника. Различают три вида инициализации: «холодный старт», «теплый» и «горячий».

Когда приемник включается впервые или после длительного бездействия, данные о его местонахождении, которые были сохранены во внутренней памяти, не совпадают с актуальными. Тогда для начала работы выполняется поиск спутников, загрузка данных о состоянии и загрузка эфемерид. Далее идет определение расстояния до нескольких спутников, идет подсчет ошибки определения места и синхронизация часов. Этот, так называемый, «холодный старт», занимает несколько минут.

«Теплый» старт - это когда время пребывания приемника в выключенном состоянии не превышает определенного срока и альманах эфемерид не успел устареть, при этом сразу происходит измерение дальностей и синхронизация времени.

«Горячий» старт - повторное включение оборудования в течение суток. Часы, в данной ситуации, уже будут синхронизированы, альманах будет свежим, поэтому сразу начнется позиционирование, что займет несколько секунд [18, стр. 38-40].

*Эффект многолучевости* возникает при отражении сигнала от земной поверхности и окружающих предметов. Погрешность, при кодовых измерениях, может достигать до 10 м. Для защиты от влияния отраженных сигналов в приемнике реализован алгоритм сравнения нескольких сигналов, приходящих от одного спутника, и отсеивания наиболее слабых (многоканальность).

*Препятствия на пути сигнала* - достаточно крупные предметы, здания, рукотворные сооружения, всё это непреодолимо для сигнала со спутника. Пространство эффективного приема сильно уменьшается в городах, лесу и горной местности. Фазовый способ определения координат более чувствителен, чем кодовый. Работе мешают мощные радиолокационные и телевизионные станции, если они расположены в радиусе 500 м. данный фактор устранить нельзя, поэтому для компенсации помех выбирают оптимальное место наблюдения.

**Способы позиционирования.**

Точность определения координат с помощью глобальных систем позиционирования в геодезии - это миллиметры в плане и сантиметры по высоте. Но точность зависит от способа позиционирования.

Существует два способа позиционирования - *автономный и дифференциальный.*

У дифференциального способа есть два метода обработки данных - *режим реального времени и постобработка.*

**Типы приемников.**

Все приемники делятся на одно- и двухсистемные (принимающие сигналы только от системы GPS или от GPS и ГЛОНАСС), кодовые и кодово-фазовые, одно- и двухчастотные.

Пространственный геометрический фактор дает оценку точности местоопределения -  $pDOP$  (Dilution of Precision):  $p$  - position,  $h$  - horizontal,  $v$  - vertical [19, стр. 314].

При меньшем значении  $pDOP$  - определение координат более точное.

*При  $pDOP < 3$  - точность хорошая;*

*При  $pDOP < 6$  - точность удовлетворительная;*

*При  $pDOP > 6$  - точность неудовлетворительная.*

**Решаемые задачи:**

*Ориентирование.*

Для ориентирования используются портативные кодовые приемники, принимающие C/A-код на частоте L1 и P-код на частоте L1 и L2. Результат отображается на экране дисплея в форме геодезических координат или в виде индекса направления [20, стр. 209-211].

*Полевое картографирование, формирование баз данных.*

Обязательна возможность атрибутирования объектов съемки, подключение к средству обработки.

*Геодезические измерения.*

Точность определения координат местоположения - см и мм. Комплект включает более или равное 2-м специализированных приемников для измерения дальностей фазовым способом.

Основное направление развития технологий спутниковой навигации (в том числе программно-аппаратных средств) связано с поиском методов и средств снижения погрешностей в навигации. В главной мере это достигается задействованием избыточных измерений (информационные потоки от большего числа спутников, совместной обработкой навигационных измерений и т.д.). Так же необходимо учитывать, что погрешность определения местоположения зависит от различных воздействий физиче-

ской природы.

Точность GPS может быть целенаправленно снижена МО США в результате подключения режима ограниченного доступа на спутниках (Selective Availability). Он разработан, чтобы не давать противнику тактического преимущества. Этот режим создает наибольшую суммарную погрешность. В зависимости от атмосферных условий и качества оборудования изменяется и величина воздействия на сигнал.

Следующие факторы влияют на точность опреде-

ления местоположения ГНСС (рис. 6):

- задержки в ионосфере и тропосфере;
- многолучевой прием;
- ошибки синхронизации времени приемника;
- собственные шумы навигационных приемников;
- геометрия спутников, определяемая их взаимным расположением;
- эфемерные ошибки - погрешность положения и скорости движения спутников;
- намеренное загроуление сигнала с помощью программы избирательной доступности (БА).

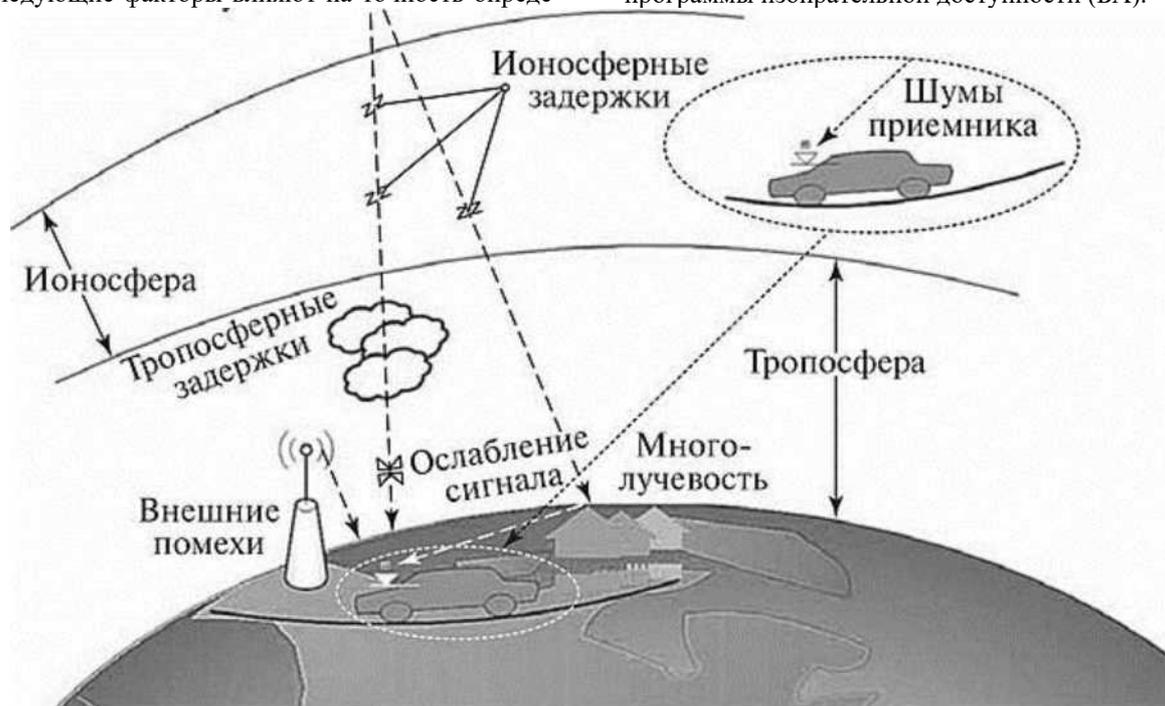


Рис. 6. Источники ошибок определения местоположения

Рассмотрим более подробно каждый из указанных факторов.

На спутниках и приемниках, установлены высокоточные атомные часы. С целью устранения ошибок, возможных у приемника, постоянно происходят дополнительные измерения. Спутники отправляют правки по своему положению ежеминутно.

С какой бы точностью ни работали бы атомные часы на спутниках, но все-таки и у них есть небольшие погрешности. Наземные службы контролируют эти часы и могут их откорректировать, т.е. провести сверку. Но даже при таком подходе иногда возникают небольшие неточности заметно увеличивающие погрешности местоопределения. Как и атомные часы на спутниках, приемное оборудование на Земле так же даёт сбой. Процессор приемника может допускать

ошибки, производя округление математических операций. Электромагнитные помехи тоже могут приводить к ошибочной обработке случайных кодов [21, стр. 51]. Крупные погрешности - очевидны. Малые же обнаружить гораздо сложнее.

Данные ошибки устраняют, с помощью наземного сегмента ГНСС, за счет синхронизации шкал времени и частот генераторов.

Как бы совершенна ни была система позиционирования, но есть погрешности, которых практически невозможно избежать.

Самые значимые из них возникают при задержке сигнала в ионосфере (слой заряженных частиц на высотах 120-200 км) и тропосфере (на высотах 8-18 км) Земли (рис. 7).

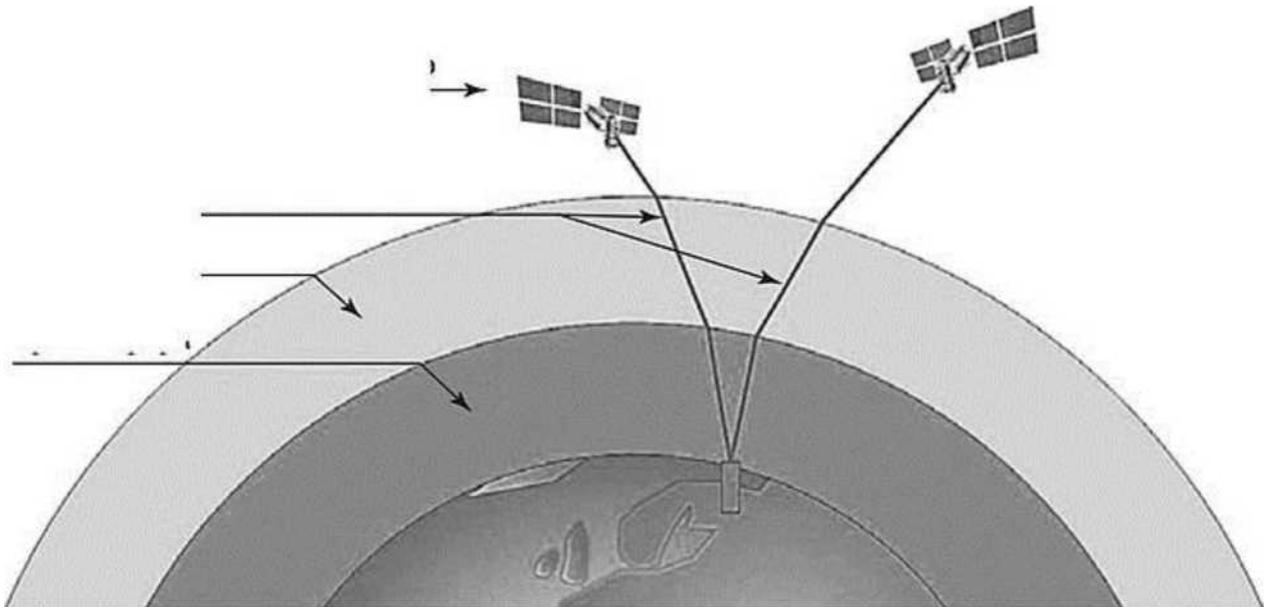


Рис. 7. Траектории движения сигналов в ионосфере и тропосфере

Чтобы снизить влияние ионосферы, в настоящее время используется дифференциальный метод определения местоположения (D-GPS). Там используют два приемных аппарата - один мобильный; второй - в точке с точно известными координатами. Данные, которые поступают с обеих систем GPS, автоматически сравниваются и обрабатываются, затем происходит корректирование данных мобильного приемника. И чем ближе относительно друг к другу мобильный и стационарный приемники - тем точнее координаты мобильного приемника.

Задержка во времени различна для сигналов от различных моделей спутникового оборудования. Погрешность распространения радиоволн находится в зависимости от атмосферы и высоты нахождения спутника. А именно, чем ниже спутник - тем больший путь проходит его сигнал через атмосферу, а значит больше искажение. Большое количество приемного оборудования вовсе не допускает использование сигналов от спутников, находящихся менее  $7,5^\circ$  над горизонтом. Также атмосферные помехи зависят от времени суток. Ионизация в дневное время вызвана воздействием солнечного излучения, а в ночное время плотность ионосферы как и ее влияние уменьшается. Так же, уровень ионизации находится в зависимости от местоположения, на экваторе - максимальна.

После того как сигналы пересекли ионосферу, они проходят через атмосферу, в которой влияние на сигнал оказывают уже все погодные условия. Воздействие, в основном, оказывает тропосфера. Тропосфера - это слой Атмосферы, который расположен на высоте 0 - 10 км от поверхности. Ошибки здесь возникают из-за изменений в плотности молекул газа и изменений во влажности воздуха. С увеличением высоты - плотность уменьшается. Увеличение плотности и/или влажности приводит к замедлению скорости распространения радиосигналов.

Ошибки от воздействия Тропосферы схожи по величине с ошибками, вызываемыми Ионосферой. Однако, их уже практически невозможно скорректи-

ровать. Для корректировки данного эффекта используют простую модель зависящей от давления (P) и температуры (t). Их общий вклад в погрешность определения местоположения сравнительно мал.

Погрешность из-за ионосферных и тропосферных искажений составляют от 10 до 40 м, в среднем.

Существуют 2 метода для минимизации ошибок, связанных с влиянием атмосферы:

1. Можно предсказать, каково будет стандартное изменение скорости в среднестатистический день при средних условиях в ионосфере, а потом внести правку во все измерения. Но не каждый день - среднестатистический.

2. Возможно сравнить скорости распространения двух сигналов, имеющих разные частоты несущих колебаний. Когда радиоволна проходит через ионосферу, возникает запаздывание в ее распространении. Задержка сигнала обратно пропорциональна квадрату частоты излучения. А это значит, что чем ниже несущая частота, то тем больше происходит замедление. Поэтому, ошибки в нахождении «псевдодальности» обратно пропорциональны квадрату несущей частоты.

Таким образом, если мы сравниваем время распространения двух разночастотных радиосигналов, то определяется замедление. Данный метод корректировки очень сложен и используется только в совершенных, «двухчастотных», навигационных приемниках. В них большая часть погрешности от ионосферной задержки может быть минимизирована.

С 2005 года спутники вещают дополнительные сигналы, для исключения ионосферных помех. По 2 сигнала были добавлены к военным частотам, 1 - для гражданского. Далее в 2008 году спутники стали передавать еще один дополнительный гражданский сигнал, который увеличил мощность в 5 раз.

Далее рассмотрим скорость света, которая постоянна только для вакуума, он существует в глубоком космосе, на значительном расстоянии от Земли. Но при прохождении радиосигнала через более плотную

среду, такую как слой заряженных частиц, то эти частицы очень сильным образом оказывают влияние на скорость радиосигнала. Скорость его распространения уменьшается. Что в свою очередь, оказывает влияние на вычисления расстояний до спутников, т.к. вычисления базируются на предположении о том, что скорость распространения радиоволн строго постоянна. Величина же задержек оказывается непостоянной и находится в сильной зависимости от солнечной активности и погодных условий.

Ошибки многолучевости - отраженные сигналы. Из-за переотражения радиоволн от рядом находящихся объектов возникают погрешности [22, стр. 117]. Радиосигнал множество раз отражается от крупных предметов и разнообразных поверхностей (высотные здания, скалы). В результате чего сигнал со спутника приходит к приемному оборудованию не по прямой линии, а по непредсказуемой траектории (рис. 8). В результате чего время распространения отраженного сигнала значительно выше времени прямого. Поэтому приемник считает, что он расположен гораздо дальше относительно спутника.

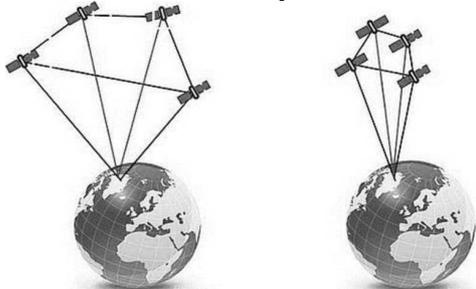


Рис. 8. Иллюстрация сигналов спутника

Увеличенное время перемещения отраженного сигнала приводит к возникновению ошибки. Но стоит заметить, что эти погрешности меньше 100 м, т.к. только близко расположенные объекты способны дать сильное эхо. Так же, искажение сигнала происходит из-за явления интерференции прямого и отраженных сигналов. Так ошибки многолучевости можно отнести и к категории ошибок, связанных с распространением сигнала, и к ошибкам самого приемника. При уровне переотраженного сигнала выше уровня прямого происходит ошибочный «захват», что в свою очередь ведёт к некорректному определению расстояния до спутника.

В современных приемниках используются усовершенствованные техники обработки сигналов и специализированные антенны. Но нужно учесть, что все источники погрешностей суммируются.

Геометрия расположения спутников влияет на точность определения позиции, так же, как и точности измерений. Для достижения наибольшей эффективности определяется «геометрический фактор», который называется Geometric Dilution of Precision» (геометрический фактор понижения точности). Так же его называют PDOP (Position Dilution Of Precision). Геометрический фактор находит расположение приемника и спутников относительно друг друга. Используют в расчете PDOP = 1,5 и PDOP = 5,7 для транспортных средств.

Данная величина влияет на точное определение

местоположения технического средства. Для идеального расположения спутников PDOP меньше 1, большие значения свидетельствуют о плохой спутниковой геометрии. PDOP используют и как множитель для других ошибок.

GDOP влияет очень высоко. Каждая измеренная приемником псевдодальность имеет свою погрешность, зависящую от атмосферных помех, ошибок в эфемеридах, отраженного сигнала и т.д. Если значения этих ошибок в сумме равны 50 м, то для GDOP равной 1,5 ожидается ошибка равная примерно 75 м. Значение DOP является величиной, обратной по отношению к объему четырехгранника, образованного позициями спутника и пользователя. Наилучшее геометрическое расположение - при максимальном объеме и, следовательно, минимальном PDOP.

В зависимости от взаимного расположения спутников на небосводе геометрические соотношения, которыми характеризуется это расположение, могут многократно увеличивать или уменьшать все неопределенности. На рис. 9 представим это графически. Положение объекта определялось с помощью окружностей, центры которых в точке нахождения спутника. Так как каждое измерение содержит в себе малую неопределенность, окружности необходимо изображать размытыми. Площадки размытости - это области неопределенности. И то, что ранее было точкой местоположения X, теперь превращается в небольшой четырехугольник, а приёмное оборудование должно находиться где-то внутри этого четырехугольника.

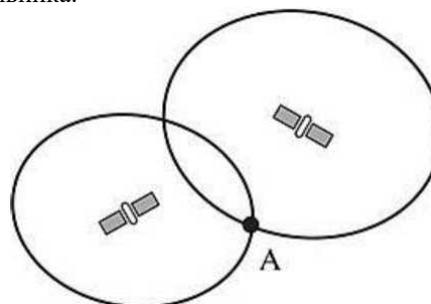


Рис. 9. Область неопределенности при нахождении спутников

В зависимости от угла между направлениями на спутники область пересечения размытых окружностей может быть или небольшим квадратом, или большим вытянутым четырехугольником. Это и есть определением понятия «геометрический фактор понижения точности».

При подключении приёмника ко спутникам, находящихся недалеко друг от друга, область неопределенности становится больше. Поэтому, если все спутники находятся в одном направлении относительно приемника, то площадь пересечения вероятных окружностей будет сравнительно большой, а это значит, что точность местоположения снижается.

Наиболее подходящей является геометрия спутников, при которой углы между направлениями большие. Плохой же считается - когда спутники выстроены по одной линии или очень близко к ней. К примеру, если приемник нашёл 4 спутника, находящихся на севере, то спутниковая геометрия неудов-

влетворительная с большой ошибкой определения координат.

Хорошее приемное оборудование снабжается вычислительными процедурами, которые производят анализ относительного положения всех доступных для наблюдения спутников и выбирают из них 4 «идеально» расположенных.

Ещё есть ситуация, когда определение координат вообще невозможно. При этом все 4 измерения происходят из одного и того же направления или же область их пересечения весьма обширна. С теми же 4 спутниками точность выше, если они располагаются равномерно относительно сторон горизонта.

Существуют следующие варианты записи геометрического фактора:

1. HDOP (Horizontal Dilution of Precision) - горизонтальная DOP, определяет влияние геометрии на определение ошибки на горизонтальной плоскости. Кроме HDOP, так же используют GQ (Geometric Quality, обратную величину HDOP).

2. PDOP (Position Dilution of Precision) - позиционная DOP, определяет влияние геометрии созвездия на пространственную ошибку.

3. TDOP (Time Dilution of Precision) - позиция в 3D-пространстве, определяет влияние геометрии на определение ошибки отправки в бортовой шкале времени.

4. VDOP (Vertical Dilution of Precision) - вертикальная DOP, определяет влияние на определение ошибки по высоте.

GPS приемники различно предоставляют информацию для оценки точности с использованием PDOP. В частном случае, возможна качественная оценка в баллах. Немало современных приёмников предоставляют EPE (Estimated Position Error - ожидаемую ошибку позиции) непосредственно в единицах расстояния. EPE учитывает расположение спутников в данный момент времени и прогнозирует погрешности сигналов для каждого спутника в зависимости от SA, атмосферного состояния, ошибок часов спутника, передаваемый в составе эфемерной информации.

Геометрия спутников также является проблемой при использовании GPS приемника внутри транспортных средств, в горах, в лесу, вблизи высоких зданий.

Геометрический фактор будет уменьшаться при увеличении числа наблюдаемых спутников. Основной показатель геометрического фактора - PDOP. Зависимость качества навигационного решения от значения DOP представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Зависимость качества навигационного решения от значения DOP

Значение PDOP	Точность	Описание
< 1	Идеальная	Рекомендуется для использования в системах, требующих максимально возможной точности во все время их работы
2-3	Отличная	Достаточная точность для использования результатов измерений в достаточно чувствительной аппаратуре и программах

Значение PDOP	Точность	Описание
4-6	Хорошая	Рекомендуемый минимум для принятия решений по полученным результатам. Результаты могут быть использованы для достаточно точных навигационных указаний
7-8	Средняя	Результаты можно использовать в вычислениях, однако рекомендуется озаботиться повышением точности, например, выйти на более открытое место
9-20	Ниже среднего	Результаты могут использоваться только для грубого приближения местоположения
21-50	Плохая	Выходная точность ниже половины футбольного поля. Обычно такие результаты должны быть отброшены

Также отметим, что в GPS обращение спутников синхронизировано с вращением планеты, поэтому в заданных точках Земли в одинаковое время суток созвездие навигационных спутников имеет одинаковый геометрический фактор, и существуют области с постоянным пониженным значением. Этот недостаток устранили в ГЛОНАСС, где выбранная высота орбиты создает непрерывное изменение конфигурации созвездий навигационных спутников над одним и тем же географическим местом для одного и того же времени, периодически повторяясь через каждые семь суток.

Средняя точность определения положения навигационными приемниками в горизонтальной плоскости равна примерно 1-2 м (при условии отсутствия облачности). Точность определения высоты над уровнем моря обычно в 2-5 раз ниже, чем точность определения координат при тех же условиях.

Уровень приема сигнала от спутников, а также и точность определения координат, снижается из-за плотной листвы деревьев или из-за очень высокой облачности. Ещё нормальному приему могут мешать помехи от наземных радиомагнитных источников.

Но всё же главным фактором, который влияет на снижение точности, является плохая видимость небосвода. Особенно это заметно, когда приемник находится в условиях плотной городской застройки, при этом большая часть небосвода закрыта расположенными рядом строениями, навесами и проводами. Точность определения координат может при этом снижаться до 20-30 м. Препятствия не пропускают сигналы от части потенциально доступных в данной точке Земли спутников.

И если говорить о точности в условиях города, то на основе накопленных статистических данных, можно сделать следующие выводы:

- при перемещении по узким улицам, в большей степени, когда вдоль них расположены дома, точность составит примерно 4-10 м;

- точность определения местоположения при нахождении транспортного средства на открытой местности (парковки, площади и др.), а также при движении по автомагистралям, многополосным до-

рогам будет равняться примерно 1-2 м;

- при нахождении автомобиля во дворах домов, очень близко к высотным зданиям и т.п., точность падает до 20-30 м.

Намеренное загроушение сигнала GPS. Программа избирательной доступности (Selective Availability, SA) Министерства обороны США может целенаправленно вносить погрешности в сигнал GPS. Техническая возможность - существует, путем внесения ошибки в несколько десятков метров; в особых случаях могут быть внесены и в сотни метров. Хаотического сдвига времени передачи псевдослучайного кода приводит к созданию такой погрешности.

В целях этой программы было ограничение возможности для использования гражданских GPS-приемников в военных целях. После установки этого режима, создаётся наибольший компонент суммарной погрешности GPS.

По заявлениям правительства США, в мае 2000 г. был выключен режим SA, что сразу увеличило точность гражданских GPS-приемников со 100 до 15 м.

Ошибки, возникающие от SA, являются случайными и равновероятными в любую сторону. SA влияет также на точность определения курса и скорости. Поэтому неподвижный приемник показывает незначительно изменяющиеся величины скорости и курса. Из-за чего оценить степень воздействия можно по изменениям курса и скорости.

Однозначно, точность определения координат сильно зависит и от качества исполнения самого навигационного приемника, а также от используемых антенн приёма и их правильного размещения на транспортном средстве. Хороший навигационный приемник показывает не только какие спутники используются, но и где они находятся (азимут и возвышение над горизонтом), при этом можно определить, затруднен ли прием конкретного спутника.

Чтобы уменьшить влияния ошибок измерения используют разнообразные технические решения, часто их применяют в комплексе. Основными из них являются такие как:

- измерение двойной частоты;
- геофизические корректирующие модели;
- выбор места и времени измерения;
- Differential GPS (DGPS) - дифференциальная навигация.

Для дифференциальной навигации используются одна или нескольких неподвижных базовых станций, координаты которых известны и определены с высокой точностью. Полученные на них корректирующие поправки передаются мобильным пользователям. Оценка коррекционных данных от этих станций возможна как после предварительной обработки, так и в режиме реального времени.

Выбор места и времени измерения используется для линии прямого контакта со спутниками за счет улучшения DOP-фактора.

Геофизические корректирующие модели используются для первичной компенсации эффектов ионосферы и тропосферы. Корректирующие факторы применяются только в специальных и ограниченных областях.

Для измерения двойной частоты используются приемники, способные измерять сигналы на двух частотах - L1 и L2. Радиосигналы разной частоты при прохождении через ионосферу замедляются, обратно пропорционально квадрату его частоты. При сравнении полученных времён обоих сигналов, определяется их задержка в атмосфере и, следовательно, эффект ионизации. Таким образом, результат совместного наблюдения за L1/L2 сигналами используется для компенсации эффекта ионосферы.

#### **4. Реализация проекта методики повышения позиционирования за счет наземных средств**

##### **4.1. Размещение дополнительных наземных средств для повышения точности позиционирования**

В настоящее время в России происходит процесс постепенного внедрения и использования современных спутниковых технологий в различных областях обороны, хозяйствования, техники и науки. Ведомства, государственные и частные предприятия, организации владеют соответствующим оборудованием и технологиями позиционирования и используют их для решения своих целевых задач.

Как и в любой технической системе, компоненты космических навигационных систем работают не идеально. Поэтому значения координат и скорости, приходящие потребителям в навигационном решении, различны с реальными. На точность определения навигационных задач по определению местоположения влияют следующие факторы:

- эфемерные погрешности НКА;
- геометрическое расположение НКА, используемых в решении;
- погрешности формирования бортовых шкал времени НКА;
- аппаратные погрешности НКА;
- погрешности за счет распространения навигационных радиосигналов в атмосфере (ионосферные и тропосферные погрешности);
- наличие в системе специальных мер по загроулению точности (селективный доступ в системе GPS).

Радикальным способом увеличения точности навигационных систем - дифференциальный режим навигации. Его суть заключается в устранении погрешностей навигационного поля системы, сильно коррелированных в локальных районах (до 2000 км).

К сильнокоррелированным можно отнести погрешности навигационных определений, обусловленные следующими факторами:

- влиянием погрешностей эфемерид НКА;
- рассинхронизацией бортовых шкал времени (ШВ) НКА;
- распространением навигационных сигналов в ионосфере и тропосфере.

После получения аппаратными методами или расчетным путем величины этих регулярных погрешностей, можно создать компенсацию в аппаратуре потребителя основных стандартных погрешностей навигационных определений, при учете в алго-

ритмах обработки навигационных данных. Совокупность аппаратных и программных средств, которые предназначены для повышения точности на основе стандартного сигнала СРНС, называются функциональными дополнениями.

#### **Задачи функциональных дополнений и пути их реализации**

Задачи функциональных дополнений:

- обеспечение заданной целостности спутниковых радионавигационных систем;
- обеспечение заданной непрерывности навигационных определений;

- обеспечение необходимой доступности СРНС;
- повышение точности навигации до необходимой.

Указанные задачи можно решить при помощи методик:

- использования для повышения точности навигационных определений режима дифференциальной работы;

- для повышения доступности - внедрение дополнительных спутников;

- для повышения целостности - внедрение новых наземных станций контроля целостности и создание специального канала передачи данных о целостности (GIC - GPS Integrity Channel).

Для повышения целостности необходимо наличие сети станций контроля для непрерывного контроля работы системы в реальном времени и наличие регионального вычислительного центра для обработки полученных от сети станций данных, а также формирования данных о целостности для дальнейшей передачи их потребителям.

Для каналов передачи информации о целостности (СРНС GPS и ГЛОНАСС), которые обеспечивают главные требования к ним, предполагаются каналы геостационарных спутников. Канала целостности является узкополосным при передаче информации о целостности и других данных он [6, стр. 36].

Когда необходима передача в каналах целостности сигналов, подобных радионавигационным сигналам (GPS или ГЛОНАСС), он является широкополосным. В таком случае происходит передача данных и навигационные измерения совместно. Выполняются 2 условия: резервное измерение дальности на случай возникновения отказов спутников, а еще передача сигналов предупреждения.

Всё это позволяет увеличить целостность системы и повысить её доступность за счет дополнительных сигналов радионавигации. Так же за счет передачи дифференциальных поправок в общем объеме информации можно реализовать дифференциальный режим работы на широких районах (широкозонный дифференциальный режим).

#### **Состав и виды функциональных дополнений ГНСС**

В зависимости от места размещения элементов функциональных дополнений и методов решения задач 3 типа функциональных дополнения:

- автономные функциональные дополнения, реализуемые на борту надводных кораблей или на борту воздушного судна - Aircraftbased Augmentations Systems (ABAS) (по классификации ИКАО), использу-

ющие автономные методы контроля целостности RAIM & AAIM;

- наземные функциональные дополнения - Ground-based Augmentation Systems (GBAS) (DGPS, LAAS, GRAS);

- космические функциональные дополнения - Space-based Augmentation Systems SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS).

#### **Автономные функциональные дополнения (Aircraft-based Augmentations Systems (ABAS))**

На борту воздушных судов или надводных кораблей потребителей реализуются функциональные дополнения, которые решают задачи повышения точности, контроля целостности и надежности навигационных определений, используют технические средства, расположенные на борту потребителя.

Бортовое дополнение ABAS - это улучшение системы автономного контроля целостности в навигационном приемнике (RAIM), с помощью использования информации других бортовых систем (самолет, судно). Вся доступная навигационная информация на борту в таком случае будет использована для обеспечения требуемых характеристик навигационного обеспечения.

Применяются различные методы, один из которых - использование в НАП алгоритмов автономного контроля целостности (RAIM), среди которых можно выделить:

- исключение отказавших спутников навигации;
- обнаружение отказов.

#### **Использование методов бортового контроля целостности AAIM (Airborne Autonomous Integrity Monitoring).**

Комплексирование с навигационными датчиками, установленными на объекте. Среди них могут быть:

- магнитный компас;
- высотомер;
- инерциальная навигационная система;
- высокоточные часы;
- гироскопические датчики;
- бортовые навигационные датчики и средства.

Комплексирование с данными других навигационных систем:

- использование совместно в НАП сигналов GPS-ГЛОНАСС;

- использование совместно в НАП сигналов GPS-Galileo-ГЛОНАСС.

При достаточном количестве навигационных спутников (не менее шести) процедуры RAIM могут определить те спутники, информация с которых не может быть использована для расчета навигационных характеристик. При небольшом количестве наблюдаемых спутников процедура RAIM не может отбраковать спутники, и это означает необходимость использования дополнительной информации от других бортовых средств и измерительных навигационных систем.

Наземные и космические функциональные дополнения возводятся уже с задействованием дополнительных наземных и космических систем и средств. На Земле размещают специальные контрольно-корректирующие станции, выполняющие расчет

корректировок поправок для увеличения точности позиционирования, а также повышение надежности и контроль целостности навигационных определений. Передача на потребительский борт полученной информации (дополнительной) происходит либо непосредственно наземными станциями (для GBAS), либо с использованием специальных спутников связи (для SBAS).

Главное отличие SBAS и GBAS - способ получения и доставки корректирующей информации и зона действия систем. GBAS - локальная система, функционирующая в зоне до 50-100 км, а SBAS - глобальная система, с зоной действия до нескольких тысяч км.

#### Наземные функциональные дополнения (Ground-based Augmentation Systems - GBAS, (DGPS, LAAS, GRAS))

Наземное дополнение GBAS включает следующие основные элементы:

- станцию мониторинга дифференциальных поправок;
- станцию контрольно-корректирующую;
- станцию передачи дифференциальных поправок и сигналов предупреждения.

Станция контрольно-корректирующая для повышения точности производит контроль целостности сигналов навигации и производит расчет дифференциальной корректирующей информации. Могут привлекаться специальные станции контроля, которые контролируют качество излучаемых навигационными спутниками радионавигационных сигналов и нави-

гационного поля, а в случае возникновения отказов и неисправностей - формируется признак отказа спутника.

Станция мониторинга дифференциальных поправок контролирует их качество. Сведенная информация затем обобщается в едином формате и затем передается на борт по одному из доступных каналов связи (УКВ-связь или другие). К наземным функциональным дополнениям относятся региональные дифференциальные и локальные подсистемы различного назначения - морские, геодезические, авиационные (LAAS), специальные.

Локальные ДПС имеют максимальную дальность от контрольно-корректирующей станции (ККС) или передатчика линии передачи данных (ЛПД) до 50 - 200 км. ЛДПС обычно включают одну ККС (есть варианты с несколькими), средства передачи данных, аппаратуру управления и контроля (в том числе и контроля целостности).

Для обеспечения в самолетах высокоточной навигации в момент захода на посадку и непосредственно посадки в США широко внедряются и разрабатываются авиационные LAAS, которые устанавливаются на каждом аэродроме (рис. 10). В качестве средства передачи на борт самолетов в LAAS обычно используют псевдоспутники, которые излучают похожий на GPS сигнал. Помимо передачи сигналов предупреждения и дифференциальных поправок, поддерживается дополнительный канал измерения дальности относительно наземного пункта.

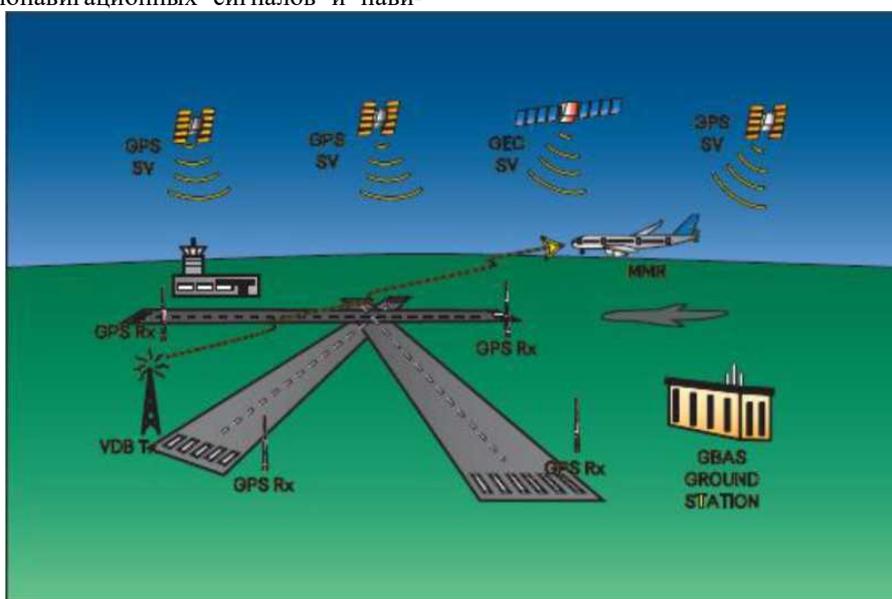


Рис. 10. Структура системы LAAS

GBAS в зоне аэродрома располагается так, что создает условия для расширения ее функций. Дается возможность контролировать и управлять всеми подвижными объектами, которые находятся в зоне аэродрома. Для этого все аэродромные транспортные средства должны быть оборудованы НАП и по радиоканалу передавать свои координаты диспетчеру, где они отмечаются на электронной карте. Имея дополненную картину расположения и движения по

аэродрому всех воздушных судов и транспортных средств. Из диспетчерской можно производить оперативное управление и тем самым повысить безопасность.

Региональные ДПС имеют предназначение навигационного обеспечения отдельных регионов моря, континента и др. Рабочая зона может составлять от 400 - 500 до 2000 км и более. РДПС могут иметь одну или несколько ККС в своем составе, а также средства

передачи сигналов целостности и корректирующей информации. Эта информация создается на главной станции или ККС.

**Космические функциональные дополнения (Space-based Augmentation Systems - SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)).**

Основа EGNOS, WAAS, MSAS - это сеть контрольных широкозонных станций (ШКС). Для совместной обработки с целью создания общих поправок и сигналов целостности информация с ШКС передается на широкозонные главные станции (ШГС). Радиус зоны работы ШДПС около 5000 - 6000 км. Сконфигурированные на ШГС корректирующие по-

правки и сигналы целостности отправляются через наземные станции передачи данных (НСПД) на гео-стационарный станции КА (ГСА) типа «Артемис», «Инмарсат» или МСАТ для последующей ретрансляции потребителям.

Эти ГСА используются в качестве дополнительных навигационных точек, для уточненных дальнометрических измерений. Основные методы контроля целостности при этом: анализ разностей между измеренными и прогнозируемыми значениями ПД; методы, использующие избыточность измерений. На рис. 11 изображены рабочие зоны космических функциональных дополнений.

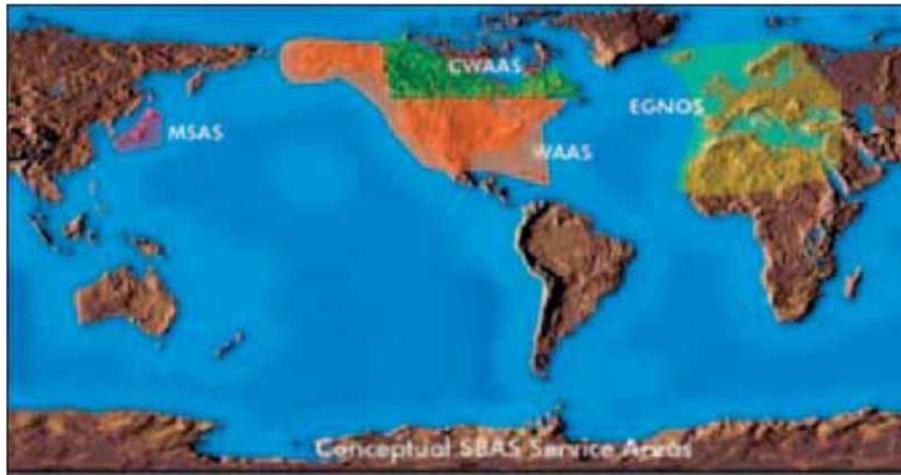


Рис. 11. Рабочие зоны космических функциональных дополнений

Отметим, что все виды функциональных дополнений не противоречат друг другу, а, наоборот, дополняют для обеспечения требований всех потребителей по целостности, точности, доступности навигационного обеспечения. В таблицах 2 и 3 приведены сферы применения WAAS и LAAS, а также автономных методов контроля целостности.

Таблица 2. Сферы применения WAAS и LAAS

Требования	Категория 1	Категория 2	Категория 3
Точность определения высоты	4 м	2,5 м	2,5 м
Целостность	(1...3,3)*10 <sup>-7</sup>	(1.3,3)*10 <sup>-8</sup>	(1.1,5)*10 <sup>-9</sup>
Доступность	0,9975	0,9985	0,999
Время обнаружения и доведения сигнала предупреждения	T < 6 с	T < 2 с	T < 1 с
Непрерывность	10 <sup>-5</sup> в течение 15 с 10 <sup>-4</sup> в течение 150 с	10 <sup>-6</sup> в течение 15 с 1,4*10 <sup>-5</sup> в течение 165 с	10 <sup>-6</sup> в течение 30 с
	WAAS	LAAS	

Таблица 3. Сферы применения WAAS и LAAS

Требования	Фазы полета	Целостность, Доступность	Точность
Маршрутный полет	Над океаном	RAIM	
	Внутренние трассы	WAAS	RAIM
Заход и по-	Неточный за-		

садка	ход на посадку	
	Точная посадка по категории 1	WAAS и LAAS
Наземные операции	Точная посадка по категории 2/3	LAAS
	Руление	

Дифференциальные подсистемы составляют основу локальных функциональных дополнений, которые решают задачи, связанные с повышением точности и контролем целостности. Максимальные дальности имеют локальные ДПС СРНС: от ККС до 50 - 200 км. ЛДПС чаще всего включают 1 ККС (контрольно-корректирующая станция); аппаратуру контроля и управления, средства передачи данных; в том числе аппаратуру для контроля целостности.

Три основных класса ЛДПС:

1. Авиационные ЛДПС - обеспечение захода на посадку и посадки воздушного судна по категориям ИКАО.

2. Морские ЛДПС - обеспечение прохода кораблей в проливных зонах, акваториях портов и узких местах гаваней в соответствии с требованиями ИМО.

3. ЛДПС для землемерных, геодезических и других специальных работ. Рассмотрим их более подробно авиационные ЛДПС.

Несколько типов авиационных ЛДПС посадки разработано в настоящее время. Эти системы имеют несколько достоинств, среди которых выделяются:

- сравнительно небольшой состав оборудования - снижение издержек при улучшенных операциях в сложных метеоусловиях;

- позволяют оборудовать местные авиалинии;

- позволяют в условиях 1-й и потенциально более сложных категорий обеспечить возможность работы для начальных участков всех ВПП со стороны захода на посадку, располагающихся в радиусе до 55 км, что делает эту систему экономически более эффективной, чем другие средства, которые предназначаются для одной ВПП;

- отличаются гибкостью - возможность реализовать траектории захода с переменной геометрией, уменьшающее время полета и обеспечивает борьбу с помехами;

- современные принципы проектирования - это контроль состояния аппаратуры и ускорение ремонтных работ.

Для примера авиационной ЛДПС можно указать системы, работающие на GPS, D930 и D920, произведенные фирмой DASA. Аппаратура D920, в соответствии со специальной категорией I, сертифицирована, система D930 может удовлетворить требованиям ИКАО как 1-й, так и 2-й категорий. Радиус действия этих систем составляет до 37 км. Система D920 включает УКВ ЛПД с монитором (стандарт RTCA/DO-217), ККС с монитором СРНС, а также для контроля и управления общий монитор. Система имеет отказоустойчивую конструкцию и сертифицирована для критических ситуаций по соответствующим стандартам. Программное обеспечение сертифицировано по требованиям RTCA/DO-178B.

При посадке самолетов выполняются жесткие требования. ЛДПС имеет монитор целостности со следующими функциями:

- обнаружение и исключение перескоков фазы при слежении за фазой, несущей;

- обнаружение и исключение аномальных сигналов и ошибок, которые влияют на измерительные каналы;

- аттестация дифференциальных ошибок определения дальности потребителя посредством сравнения некоррелированных показаний приемников;

- контроль передаваемых сообщений перед и после их излучения в эфир.

Общие характеристики D920 следующие:

- частота выдачи поправок 1-4 Гц;

- целостность 1-3 и 10-8;

- доступность 0,98;

- непрерывность 1-3,8.10-5,

- точность (СКО) более 1,1 м.

- встроен контроль, осуществляется автономное функционирование с теленаблюдением, а также взаимодействие со службами УВД.

Другими примерами системы, разработанными фирмами Honeywell и Pelorus, являются SLS-1000 и SLS-2000. По составу оборудование обеих систем схоже с D920/D930. В SLS-1000 имеются средства, которые оповещают потребителей при возникновении отказа. Сообщение передается операторам УВД и самолетам в зоне действия системы. Система SLS-2000 - это отказоустойчивая конструкция, про-

должающая выполнять свои функции после отказа отдельных блоков, в это время могут осуществляться мероприятия по ремонту техники. Требуемые и реализуемые характеристики этих систем приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** Требования к точному заходу на посадку и их реализация

Параметры	Стандарт RTCA/DO-217	SLS-1000, SLS-2000
Точность (СКО) определения псевдодальности, м.	1,1	Менее 0,9
Целостность	$3 \cdot 10^{-8}$ /заход	$10^{-8}$ /заход
Непрерывность	$3,8 \cdot 10^{-5}$ /заход	$1,15 \cdot 10^{-7}$ /заход
Эксплуатационная доступность, %	98	99
Время задержки сигнала оповещения, с	< 3,0	< 1,0
Время захвата, с	300	75
Критичность программного обеспечения	RTCA/DO-178B уровень B	RTCA/DO-178B уровень B
Дальность действия ЛПД, км	> 37	37.55
Периодичность сигналов дифференциальных коррекций, с	3,0	0,5
Вид модуляции	Фазовая манипуляция D8PSK согласно RTCA/DO-217, приложение F, изменение 1	Фазовая манипуляция D8PSK согласно RTCA/DO-217, приложение F, изменение
Вид сообщения	RTCA/DO-217, приложение A, тип 1	RTCA/DO-217, приложение A, тип 1 и 4

Также для посадки самолетов имеются разработки авиационных ЛДПС, характеристики которой должны удовлетворять требованиям посадки по II-й и даже по III-й категории. Эта разработка ЛДПС Стэнфордского университета использует фазовые и кодовые измерения сигналов псевдоспутников (псевдолитов - ПЛ) и сигналов НКА GPS и размещаемых перед торцом ВПП (для каждого направления захода на посадку). Фазовые и Кодовые измерения наземной станции передаются на борт самолета в реальном времени.

Использование на борту собственных измерений НКА и псевдоспутников совместно с дополнительными измерениями наземной ККС позволяют успешно решать проблему многозначности фазовых отсчетов и реализовать их высокую точность. Позиция ИКАО, по отношению формата передаваемых сообщений и используемого радиоканала для авиационных ЛДПС отражается в SARPS по GNSS 1999 года, где учитывается стандарт RTCA/DO-217 [23]. Радиотехнической комиссией по авиации США были разработаны минимальные характеристики для авиационных систем. По ним был разработан ряд конкретных и описанных выше систем, в соответствии с этим стандартом, которые прошли испытания. Их использование предназначено для обеспечения полетов гражданской авиации. Соответствующая

ЛПД использует УКВ с диапазоном частот 112-118 МГц. Сообщения ЛПД включает:

- информационный массив;
- служебную последовательность;
- корректирующую кодовую последовательность (FEC - Forward Error Correction) и вспомогательные символы.

Передаваемое частное сообщение о поправках содержит, например:

- идентификатор блока сообщения - 8 бит;
- идентификатор ККС - 24 бита;
- резервное слово - 2 бита;
- тип сообщения - 6 бит;
- длину сообщения - 8 бит;
- модифицированный Z-отсчет - 13 бит;
- ошибку ускорения - 3 бита;
- номера КА - 6 бит;
- поправки псевдодальностей - 16 бит на 1 ПД;
- возраст данных - 8 бит;
- поправки псевдоскоростей - 12 бит на 1 ПС;
- ошибки дифференциальных дальностей пользователя - 6 бит на 1 дальность;
- кодовую корректирующую группу - 24 бита.

При двенадцати КА общий размер такого сообщения составит 664 бита.

Используется относительная фазовая модуляция несущей со сдвигом по фазе на  $D/4$  (всего 8 положений). При этом один символ передаваемой информации представляется одним сдвигом фазы, чему соответствует двоичное число из трех бит (код Грея). Например, 001 соответствует 1 и фазовому сдвигу  $D/4$  и т. д. Служебная последовательность (85 бит) позволяет бортовому приемнику правильно демодулировать сообщение. В передатчике она способствует стабилизации уровня мощности, синхронизации, содержит резервный символ, информацию о длине сообщения и корректирующую группу служебной последовательности.

Служебная последовательность защищается укороченным кодом Хэмминга, способным корректировать ошибку одного бита и обнаруживать 75 из 300 возможных парных ошибок. Информационный массив (общий объем до 1776 бит) защищается укороченным кодом Рида-Соломона (225, 249 бит). Этот код способен исправлять до трех ошибочных символов. Он формируется из 8-битовых слов с помощью кодирующей последовательности (FEC). После кодирования сообщение подвергается скремблированию.

Все общее сообщение передается внутри интервала длительностью 500 мс. Восемь таких интервалов составляют один подкадр общего временного календаря ТОМА. Скорость передачи данных 2400 бит/с. Система, соответствующая специальной категории I (SCAT-I), внутри одного подкадра не может использовать более двух интервалов. Для обеспечения захода на посадку по категориям I, II и III может использоваться и более двух интервалов в зависимости от требований, предъявляемых этими системами. Для создания ЛПД применительно к ЛДПС посадки по III категории рассматриваются альтернативные варианты радиоканалов. Считается, что дифференциальные поправки для всех «видимых» КА должны переда-

ваться с частотой 1 Гц, сигналы целостности и положительной идентификации - с частотой 2 Гц и данные о состоянии ВПП - с частотой  $1/20$  Гц. При этом, однако, общий формат сообщения о поправках, приведенный выше, остается неизменным. Увеличивается лишь на 8 бит корректирующая кодовая группа (до 32 бит). Предполагается также, что сообщение о целостности имеет длину до 272 бит, а сообщение о состоянии ВПП - до 1000 бит.

В то же время предполагается, что возможности ЛПД должны быть таковыми, чтобы учитывать любые изменения в формате, например, за счет включения дифференциальных сообщений ГЛОНАСС; поправок фазы несущей; формата данных DGNS-2 (то есть DGNS еще более далекого будущего). Помимо УКВ-диапазона 108-118 МГц рассматривался и диапазон MLS 5000-5250 МГц, а также модифицированный С-диапазон.

Отмечается, что использование УКВ-диапазона, как правило, не требует размещения на самолете новых антенных устройств; однако оно требует, по сравнению с диапазоном С и диапазоном MLS, обеспечения больших отношений сигнал/помеха. Рассмотрение различных вариантов, по-видимому, будет продолжено. Свидетельством этого, в частности, является выход в свет новых нормативных документов RTCA/DO-245 (стандарт на ЛДПС посадки по категориям I, II, IIIA, IIIB и по взаимодействию с GPS/WAAS) и RTCA/DO-246 (интерфейсный контрольный документ, определяющий взаимоотношения ЛДПС посадки и бортового оборудования). Устанавливает характеристики 4-х сигналов: GNSS для ВС, GNSS для наземной станции, ЛПД и дополнительного сигнала при измерении дальности).

#### **Дифференциальные сети с передачей поправок по каналам УКВ ЧМ радиостанций**

Одним из распространенных методов передачи дифференциальных коррекций является использование системы передачи данных по радиосигналам станций FM-вещания вместе со звуковым сигналом (Radio Data System - RDS). RDS - стандарт, разработанный в Европе для передачи данных по частотам радио ЧМ. Система RDS применяется в Европе, США, ЮАР. При этом система, принятая в США (RBDS - Radio BroadCasting Data System), отличается от европейской, хотя частично совместима. Начато развертывание сетей RDS в Австралии, Южной Корее и Китае. В Японии применяется несколько другая система радиоданных, разработанная японцами специально для внутреннего применения, поскольку в RDS предусмотрен только латинский алфавит [24, стр. 147-150].

Предназначалась эта система в первую очередь для передачи дополнительной, вспомогательной информации радиослушателям-автомобилистам. Однако в дальнейшем имеющийся цифровой канал стали использовать и для других целей, в том числе для радиопейджинга. RDS работает на основе уплотнения радиовещательного сигнала в диапазоне 88.108 МГц с пилот-тоном и организации канала передачи радиоданных. Система RDS, работающая на основе евро-

пейского стандарта Cenelec EN50067 и в соответствии с техническими условиями 3244 EBU, представляет собой канал передачи данных со скоростью 1187,5 бит/с, сформированный на поднесущей 57 кГц (3-я гармоника пилот-тона).

Стандартом предусмотрена передача нескольких видов информации: названия радиопрограммы; идентификационного кода, содержащего данные о принадлежности и расположении радиостанции; списка альтернативных частот радиостанции, работающей в сети с двумя и более передатчиками; типа передаваемой в настоящий момент радиопрограммы

(новости, спорт, сводка погоды, джаз, поп-музыка, рок и т. п.) и др. Наряду с этим обеспечивается передача радиотекста (RT), данных (TDC), технологических данных и информации (IH), а также радиопейджинга (RP). Кроме того, стандарт предусматривает не менее 40 % резервных групп (всего их 16) и подгрупп под общим названием Open Data Application, на основе которых пользователи могут сами создавать различные службы и находить другие способы применения. Структура передаваемых данных в RDS представлена на рис. 12.

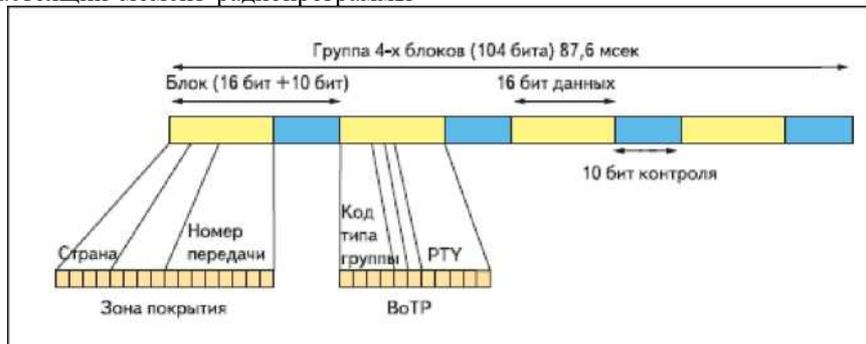


Рис. 12. Структура передаваемых данных в RDS

Данные организованы в группы, существует 16 различных групп. Каждая группа состоит из 4-х блоков. Каждый блок содержит 16 бит данных и 10 бит контроля, позволяющего приемнику автоматическим образом устранять ошибки передачи. Таким образом, каждая группа содержит 104 бита и передается за 87,6 мс. Частота передачи получается делением на 48 частоты несущей сигнала (57 кГц). В каждой группе первый блок содержит всегда код PI. Второй блок содержит тип группы и версию: коды TP и PTY. Эти три кода обязательны для любой группы, для обеспечения быстрого поиска нужной группы. Передаваемая информация содержится в последних двух блоках. Код PI содержит три поля. Содержание полей показано в таблице 5.

Таблица 5. Содержание полей кода PI

Код страны (4 бита)	Зона передачи (4 бита)	Номер программы (8 бит)
	L = локальная	От 1 до 255
1	I = международная	
	N = национальная	
	S = межрегиональная	От 1 до 255
Андорра	R1	
Швейцария	R2	
Италия	R3	
Бельгия	R4	
Люксембург	R5	
	R6	
A Монако	R7	
Великобритания	R8	
Германия	R9	
Испания	R10	
Франция	R11	
	R12 = региональная	

Тип группы состоит из 4-х бит и одного бита вер-

сии. Структура типа представлена в таблице 6.

Таблица 6. Структура типа

Тип группы (4 бита)	Версия (1 бит)		
0	Базовая информация		
1	Расписание передач		
2	Радиотекст		
3	Информация о сетях	0	A
4	Дата и время	1	B
5			
6			
7-14	Прочая информация		
15	Сокращенная базовая информация		

Код PTY состоит из 5 бит и определяет типы передачи. Структура кода PTY представлена в таблице 7.

Таблица 7. Структура кода PTY

№	Код PTY (5 бит)
0	
1	Информация
2	Новости
3	Журнал
4	Спорт
5	Педагогические передачи
6	Детские передачи
7	Юношеские передачи
8	Религиозные передачи
9	Театральные, литературные передачи
10	Документальные передачи
11	Рок и поп-музыка
12	Легкая музыка
13	Классическая музыка
14	Джаз
15	Фольклорная музыка
16-30	Варьете
31	-
	Предупреждения (катастрофы, землетрясения)

Группы RDS передаются с разной частотой. Данные о частоте передачи групп представлены на рис. 13.

Приложения	Тип группы	Частота (сек)
Код идентификации программы (PI)	Все	11
Название радиостанции (PS)	0A, 0B	1
Тип передачи (PTY)	все	11
Тип передачи для автомобилистов (TP)	0A	4
Код дополнительных частот (AF)	0A, 0B, 15B	4
Код дорожных новостей (TA)	0A, 0B, 15B	4
Код идентификации декодера (DI)	15B	1
Код музыка/речь (M/S)	0A, 0B, 15B	0.2
Код расписания передач (PIN)	1A, 1B	
Сообщение радиотекста (RT)	2A, 2B	

Рис. 13. Данные о частоте передачи групп

В настоящее время зоны покрытия радиовещательных станций, передающих дифференциальные коррекции, ежегодно увеличиваются. Дальность действия одной вещательной станции не превышает 70.100 км. Точность местоопределения объектов, обеспечиваемая RDS, специально квантуется от уровня оплаты и составляет от единиц дециметров до 10 метров. Оплата услуг осуществляется путем подписки, а величина оплаты зависит от уровня предоставляемой точности и продолжительности подписки. Примером подобных систем являются системы фирм Differential Correction Inc. (DCI) (США) и Focus Fm (Великобритания). Ориентировочная стоимость подписки приведена в таблице 8.

Таблица 8. Ориентировочная стоимость подписки

Продолжительность подписки	Уровень точности		
	1 м	5 м	10 м
12 месяцев	\$ 600	\$ 250	\$ 75
36 месяцев	\$ 1300	\$ 550	\$ 175
60 месяцев	\$ 2000	\$ 800	\$ 250

Аналогичная система развернута на территории

Швейцарии. Система функционирует много лет и контролируется Топографической службой Швейцарии. Она покрывает практически всю Швейцарию на конец 1999 г. Несколько стран в Европе и Америке имеют аналогичные системы. Эта система платная и представляет уточнение данных до двух уровней точности между 1 и 5 м приблизительно [25, стр. 10].

#### 4.2. Реализация использования дополнительных наземных средств в различных областях

Сферой применения дополнительных наземных средств в данной работе выступает международный аэропорт федерального назначения Жуковский. При внедрении дополнительных наземных средств основной задачей является «наблюдение» за всеми наземными объектами, находящимися на территории аэропорта, сведение информации воедино, отображение на рабочем месте оператора, и, возможно, прочие сервисы, автоматизирующие контроль над безопасностью перемещения. Дальнейшее развитие системы предполагает ее использование и для [законно] летающих объектов в окрестностях аэропорта. Штатным решением данной задачи является технология ADS-B, предполагающая, что каждое воздушное судно имеет специальный приемопередатчик (транспондер), передающий различные данные в эфир на частоте 1090 МГц в специальном формате с использованием амплитудной модуляции. В качестве таких данных могут выступать и координаты воздушного судна. В последнее время имеется тенденция установки подобных транспондеров и на наземные машины служб аэропорта. Недостатком подобной системы является то, что координаты определяются самим объектом (на базе GPS/GLONASS/Galileo или более древних технологий), а системе навигации остается лишь доверять им. Даже если откинуть возможность умышленного искажения данных, точность их не особо велика и может быть критичной для наземных машин. Другой часто используемый вариант - активные радары, засвечивающие все объекты в ближайших окрестностях (рис. 14). Недостатком этой технологии является невозможность идентификации объектов, а также зависимость между размером объекта и размером/яркостью метки на радаре.

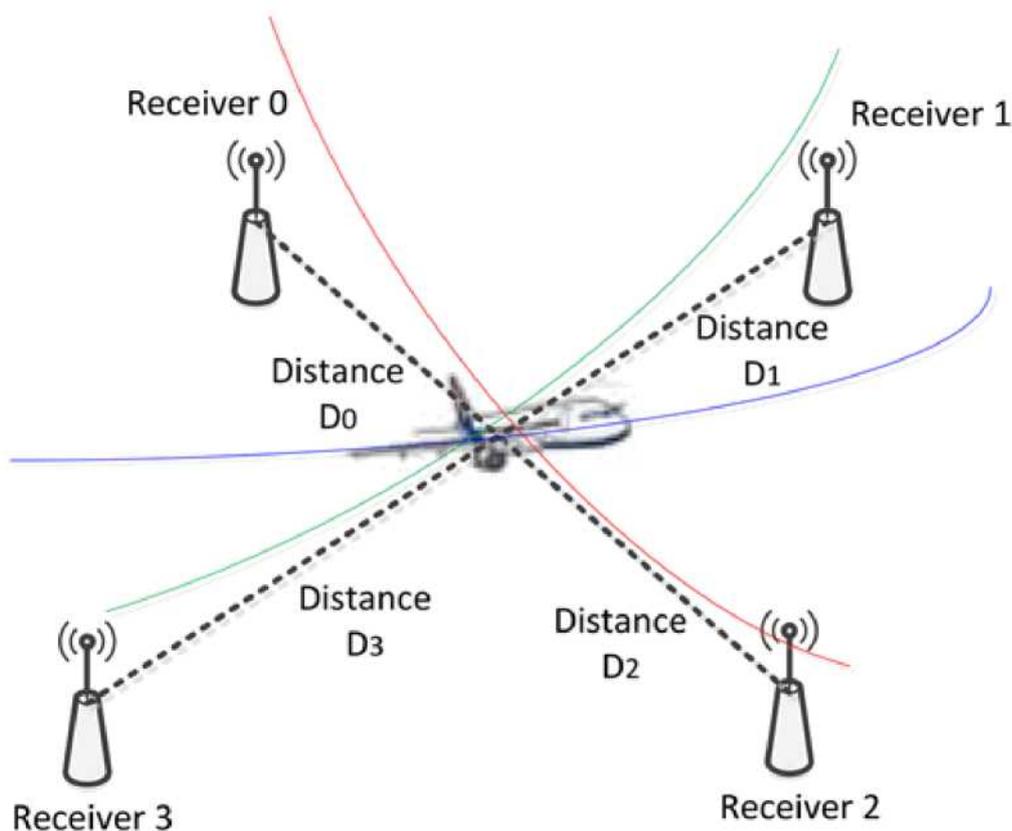


Рис. 14. Технология размещения дополнительных объектов, повышающих точность позиционирования

Все больше в последнее время получает распространение гибридная технология, она сочетает в себе преимущества этих двух подходов, основанных на так называемой мультilaterации (MLAT). Каждый гражданский самолет (крупные лайнеры) постоянно передает в эфир сообщения по стандарту ADS-B Mode-S.

Одиноким приемником могут быть приняты эти сообщения. Множество приемников в технологии MLAT используется с известными координатами. При этом у нас появляется дополнительная информация - время поступления сообщения от каждого из приемников. Нам неизвестно точное время отправки сообщения, но известна разница времен поступления сообщений по отношению к базовому приемнику.

Считая, что радиоволны равномерно и прямолинейно распространяются в эфире, мы получим разницу в расстояниях до приемников от самолета, относительно базового. На основании этих данных, с помощью линейки и циркуля, получаем координаты самолета относительно приемников, затем пересчитываем их по стандарту.

Изначально MLAT технология использовалась для старых типов транспондеров, не поддерживающих режим ADS-B Mode-S (исключительно Mode-A, реализация которого заметно проще). Теперь же все это интегрируется в общую систему под названием ADS-X (Extended ADS).

Именно такого рода система и была выбрана к использованию. Следует отметить, что в мире (да и в России), конечно же есть подобные эксплуатируемые системы западных производителей, однако имелось

желание (в том числе политически-обусловленное) создать отечественную систему подобного рода.

Можно выделить три типа архитектуры системы:

1. Независимые приемники с собственными источниками тактовых сигналов.
2. Приемники с общим синхронизирующим тактовым сигналом.
3. Общий приемник, получающий аналоговые сигналы от антенн.

Первый тип архитектуры является универсальным с точки зрения размещения на местности, однако для него остро стоит проблема синхронизации часов приемников. Современные модули GPS имеют точность формирования временных меток порядка 100-200 нс [26, стр. 193]. Как известно, радиоволны распространяются со скоростью света (300 000 км/с). Таким образом, погрешность измерения времен в 100 нс даст нам оценку погрешности позиционирования в 30 м. Вполне достаточно для управления воздушным движением, однако не подходит для наземных машин - здесь требуется точность хотя бы 3-5 м. В итоге, для реализации данной архитектуры требуется использовать более сложные технологии для синхронизации часов приемников.

Второй и третий тип архитектуры избавлен от подобной проблемы, однако требует непосредственной связи приемников (антенн) с центром обработки информации, что приводит к ограничениям на площадь, покрываемую системой. Кроме того, тут появляется проблемы «добавления» задержек при доставке сигналов по проводам, но они могут быть решены за счет калибровки системы относительно передатчиков

с заведомо известными координатами. Поскольку нашей задачей является построение локальной системы для аэропорта, а так же ввиду наличия некоторой инфраструктуры, заказчиком был выбран третий вариант архитектуры системы.

#### Разработка структуры приемника

Непосредственной задачей создаваемого устройства является получение аналогового сигнала с приемных антенн, обнаружение в нем кадров ADS-B и вычисление задержек между приемом одного и того же кадра разными антеннами. В дальнейшем собранная информация по каждому принятому кадру передается вышестоящей системе.

Кадр формата ADS-B Mode-S (еще их называют сквиттер - от англ. squitter) состоит из 56 или 112 бит данных с предшествующей преамбулой. Преамбула длительностью 8 мкс содержит две пары импульсов идущих на некотором удалении друг от друга, после чего следует информационная часть, в которой каждый бит данных закодирован переходом  $0 \Rightarrow 1$  или  $1 \Rightarrow 0$ .

Одним из требований к системе является масштабируемость - возможность увеличивать число каналов приема без значительного изменения архитектуры устройства. Планировалось, что одно устройство сможет обслуживать до 32 приемных каналов (16 с резервированием).

Пришедшие с антенн сигналы переносятся на низкую частоту в блоках АМ-демодуляции, количество которых равно числу приемных каналов. Далее производится оцифровка данных с помощью многоканальных АЦП с относительно невысокой частотой дискретизации (десятки МГц).

Такие АЦП имеют много аналоговых входов данных и скоростной последовательный или последовательно-параллельный цифровой интерфейс, в рамках которого информация со всех каналов передается упакованной в кадры.

Это позволяет значительно сэкономить на трассировке печатной платы и на ресурсах элементов ввода-вывода микросхем, реализующих интерфейс с АЦП.

В качестве устройства обработки информации наиболее удобно (в данном случае) использовать

FPGA, позволяющую решать сразу комплекс задач - интерфейс с АЦП, буферизация данных в скоростной внутренней памяти, DSP- обработка и сложные управляющие алгоритмы, реализуемые на встраиваемом процессоре.

На самом деле вопрос выбора аппаратной платформы непростой. По общим прикидкам, есть шанс, что на хорошем DSP тоже можно успеть производить всю обработку, но рисковать не хотелось. Тем более, что в любом случае, нужно еще и поддерживать интерфейс с АЦП, а значит ставить FPGA, скорее всего, так или иначе, пришлось бы.

Полученные сигналы буферизируются и отправляются в блоки приема кадров ADS-B. Количество блоков соответствует числу принимаемых каналов. В них происходит обнаружение преамбулы, выделение данных и проверка их контрольных сумм. Так же предпринимается ряд мер по приему наложенных друг на друга кадров, в том случае если один из них имеет заметно большую мощность. Полученные кадры с временными отметками передаются для дальнейшей обработки.

Одновременно с этим производится другая процедура - вычисление точной задержки (с точностью меньше одного интервала дискретизации) по формам принятых сигналов. Для всех принятых кадров устанавливается их положение в буфере, после чего они парами (относительно какого-нибудь канала, выбранного ведущим) отправляются на обработку совмещенные с точностью до одного интервала дискретизации. После интенсивной цифровой обработки, как во временной, так и в спектральной областях, на выходе получается число в долях частоты дискретизации - насколько во времени отстоят кадры друг от друга.

К примеру, на следующей картинке показаны две реализации сигнала, отстоящие друг от друга на половину интервала дискретизации (для удобства восприятия они совмещены во времени и метками указаны моменты, когда они были просэмплированы). Блок вычисления точной задержки при подаче на вход таких сигналов выдаст значение 0,5 (или -0,5 в зависимости от того, какой из сигналов пришел раньше), т.е. половина интервала дискретизации (рис. 15).

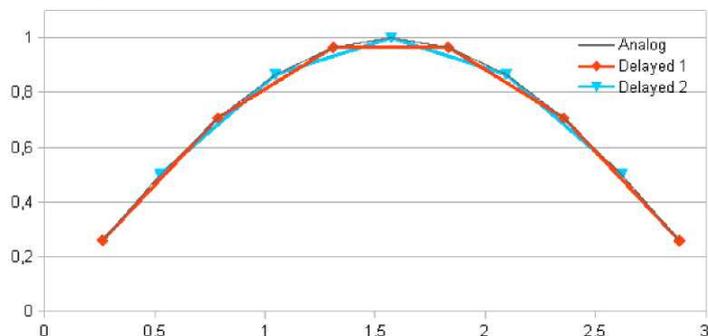


Рис. 15. Реализация двух сигналов

По окончании данной процедуры можно подготовить итоговую информацию по каждому кадру: содержащиеся в кадре данные и задержки приема по каждому из каналов.

Сложность процедуры общего управления обра-

боткой кадров заключается еще и в том, что разные каналы в одно и то же (близкое) время могут принять кадры от разных объектов - в зависимости от того, чей передатчик мощнее и кто где будет расположен относительно антенн.

В конечном итоге собранная информация отправляется в вышестоящую систему для дальнейшей обработки и вычисления пространственного положения объектов.

## 5. Проект реализации использования дополнительных наземных средств повышения точности позиционирования

### 5.1. Проектирование методики повышения точности и стабильности за счет дополнительных наземных средств

Средства наземного контроля применяются для технического обслуживания авиационной техники и служат для получения, автоматизированной обработки информации о техническом состоянии, включая проверку и оценку работоспособности, исправности, поиска, уточнения места и причины неисправной работы. По назначению и конструктивному исполнению наземные средства контроля можно разделить на следующие виды применения:

- общего;
- группового;
- специального;
- дефектоскопии;
- комплексного.

Средства контроля общего назначения нужны для измерения специальных физических величин (параметров), таких как давление жидкости и газов, напряжения, силы тока, сопротивления и т.д.

Так, на рис. 16, изображено подключение СК к ОК при определении технического состояния, а на рис. 17 - подключение при определении неисправного элемента объекта контроля, когда уже известно, что он находится в состоянии неработоспособности.

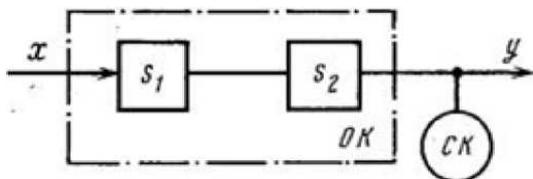


Рис. 16. Схема подключения НАСК общего применения к объектам контроля (при определении технического состояния)

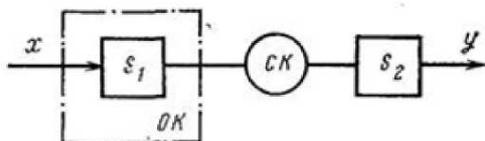


Рис. 17. Схема подключения НАСК общего применения к объектам контроля (при определении технического состояния)

Групповые средства контроля включают в себя оборудование, с помощью которого осуществляется аппаратная проверка состояния групп объектов контроля, она основана на одном и том же принципе действия и предназначена для измерения одной и той же физической величины. Основным элементом такого средства - генератор входных сигналов (ГС), который предназначен для воспроизведения физической величины, измеряемой под воздействием той или иной функции.

Средство контроля содержит в себе 2 измерительных прибора (ГС и ИП) и генератор сигналов, осуществляющих регистрацию реакцию объекта  $y$  на входное воздействие  $x$  (рис. 18).

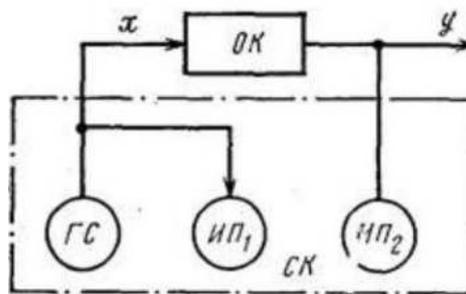


Рис. 18. Схема подключения НАСК группового применения к объектам контроля с ГС и ИП

Во 2-м случае (рис. 19) схема СК включает в себя ИП, производящие измерения входного воздействия  $x$ , реакции  $y$  ОК на входное воздействие и нормативный показатель  $y_0$ , получаемый с выхода модели объекта (МО) [27].

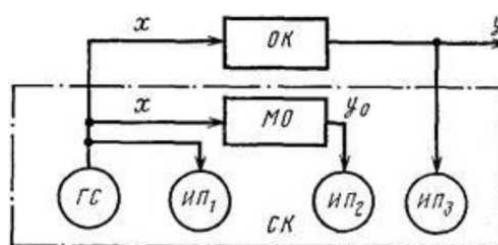


Рис. 19. Схема подключения НАСК группового применения к объектам контроля с ИП

При определении отклонения  $\Delta u$ , используют групповые средства контроля при контроле состояния некоторых объектов авиационной техники:

- измерителей расхода топлива;
- тахометров;
- герметичности пассажирских салонов и кабин и т.д.

Согласно, структурной схеме данные средства контроля аналогичны средствам группового применения и имеют назначение проверки состояния одного типа (одной модификации) объекта авиационной техники. Проектирование происходит с учетом особенностей конструкций и систем конкретных объектов. Для их подключения к объекту контроля используются специализированные разъемы агрегатов и систем. Следовательно, любая модификация систем приводит к необходимости изменения средств контроля.

Средства контроля специального применения используются:

- в системе измерения количества и расхода топлива;
- при контроле состояния электропанелей запуска;
- при контроле устройств управления режимами работы авиадвигателей;
- в САУп и т.д.

Работа средств дефектоскопии, основана на применении методов неразрушающего исследования. Они предназначены для определения начальной стадии механических неисправностей (повреждений),

определения коррозии и внутренних пороков материалов. К таким средствам контроля, помимо визуальнооптических, относятся:

- рентгеновские;
- капиллярные (цветные и люминесцентные);
- магнитные (порошковые, феррозондовые);
- токовыхревые (с использованием накладного датчика);
- ультразвуковые импульсные.

Средства контроля методом красок - это капиллярный метод, позволяющий выявлять трещины любого происхождения с шириной 0,001 - 0,03 мм и глубиной 0,05 мм, они представляют собой комплекты специальных пропитывающих, смывающих и проявляющих жидкостей, состоят из средств нанесения на поверхность контролируемого объекта. В настоящее время применяются дефектоскопы новой модификации типа ДМК и КД-40ЛЦ, в которых жидкость наносится на поверхность с помощью краскопульта или аэрозольным методом из фреоносодержащих баллончиков. При контроле небольшого участка, рекомендуется наносить проникающую красную краску с помощью кистей. Специализированная жидкость для контроля состояния узлов и деталей представляют собой:

- красную проникающую жидкость «К»;
- белую проявляющую краску «М»;
- керосин или топливо Т-1, ТС-1, Т-2 - 30%;
- масло трансформаторное или МК-8 - 70%.

Люминесцентный метод контроля имеет особые преимущества перед методом красок при условии отсутствия строго локального проявления дефектов и для контроля достаточно больших поверхностей. Поэтому данный метод рекомендуется применять в лабораторных условиях АТБ. Дефектоскоп ЛД-4 нужен для определения дефектов поверхности (коррозионные поражения, трещины, пористость, свищи и т.д.), как в магнитных, так и немагнитных материалах.

В случае магнитно-порошковым метода контроля, при техническом обслуживании ЛА применяются следующие средства:

- передвижные магнитные дефектоскопы типа ДМП-2;
- стационарные магнитные дефектоскопы типа МДА-3;
- постоянные магниты в виде скоб для контроля в труднодоступных местах;
- переносные магнитные дефектоскопы типа 77ПМД-3М и ПМД-70.

Стационарные средства используются для контроля магнитного состояния в цеховых (лабораторных) условиях АТБ всех съемных стальных деталей, демонтируемых с ЛА. А передвижной дефектоскоп типа ДМП-2 применяется для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов в крупногабаритных деталях самолетных конструкций по участкам, имеющим сварочные швы. Большая масса, примерно 225 кг, а также необходимость питания от сети переменного тока в 220В ограничивают его применение в условиях аэродрома. Но он может быть использован для единичных проверок участков крупногабаритных деталей, снимаемых с самолета (рельсов закрылков,

балок тележек шасси, подкосов цилиндров амортизационных стоек, осей колес, и др.).

Средства магнитно-феррозондового контроля - это феррозондовый полусоискатель типа ФП-1 и прибор контроля размагниченности типа ПКР-1.

Эти приборы эффективны для проверки размагничивания деталей, прошедших магнитный контроль. Феррозондовые приборы могут быть использованы также для поиска деталей, которые намагнитились под действием атмосферного или накопления статического электричества, что влияет на показания авиационных приборов, чувствительных к магнитным полям.

Переносной магнитный дефектоскоп 77ПМД-3М имеет назначение для контроля стальных деталей и выявления поверхностных и внутренних дефектов, находящихся на глубине до 2,5-3 мм. Он позволяет изучать состояние детали непосредственно на самолете в доступных местах конструкций независимо от длины:

- цилиндрической формы - диаметром до 90 мм;
- плоские - шириной до 200 мм.

Лучшие из всех технические характеристики имеет дефектоскоп типа ПМД-70, предназначенный для контроля деталей в труднодоступных местах.

На поверхности летательного аппарата люминесцентный контроль может быть выполнен с помощью дефектоскопа КЛ-31Л переносного типа. Он может определить место утечки топлива из баков, пропуски масла из соединений, свищи и вытекания гидрожидкости из гидросистемы, определяет наличия следов масла на агрегатах кислородной системы, места прогара в выхлопных коллекторах и трубах и т.д.

Ультразвуковые дефектоскопы УМД-1М; УМД-3 и УЗДЛ-2М используются в качестве средств ультразвукового контроля. Предназначены они для определения состояния участков деталей, узлов, агрегатов, позволяют выявить трещины величиной более 0,01 мм и точечные дефекты размером до 1 мм. Для деталей сложной конфигурации применяют нормальные или призматические искательные головки, которые необходимо фиксировать в строго определенном месте контактной поверхности агрегата. Для этого изготавливаются специальные приспособления фиксации для подачи в исследуемую деталь ультразвукового сигнала в строго определенном направлении, учитывают геометрические особенности участка и характера возможной неисправности.

Средства рентгеновского контроля - это передвижные аппараты типа РУП-120-6-1 или РУП-200-5-1, а также импульсный ИРА-1Д, которые предназначены для осуществления контроля состояния деталей и узлов авиационной техники, скрытых от осмотра визуальным методом. Более широко удовлетворяет требованиям аппарат ИРА-1Д. Он помогает контролировать состояние деталей и элементов конструкции ограниченной толщины:

- стальную деталь толщиной до 15 мм;
- деталь из алюминиевых сплавов около 30 мм.

Этот аппарат может рекомендоваться для наблюдения за состоянием нагревательных элементов системы противообледенения оперения и крыла само-

лета, стрингеров фюзеляжа без снятия теплоизоляции, плавких предохранителей, концевых выключателей и внутренних декоративных панелей, окантовок окон и дверей, ферм фонаря кабины экипажа, аварийных люков, и т.п.

Автоматизированные средства контроля и регистрации, используемые для аппаратного контроля состояния объектов авиационной техники, должны отвечать следующим требованиям:

- средства контроля и регистрации должны быть точными и безотказными и не менее чем на 2 порядка выше соответствующих характеристик объектов контроля;

- состояния объектов должно определяться с высокой достоверностью, в простой и наглядной форме, не требующей дальнейшего сложного анализа и должно отсутствовать требование к высокой квалификации персонала;

- простота, удобство и безопасность, а также, минимальная масса и габариты.

Средства комплексного контроля предназначены для аппаратного контроля:

- нескольких различных по назначению и принципу приборов, агрегатов и систем;

- всего комплекса объектов авиационной техники данного типа.

Конструктивно средства контроля комплексного применения выполняются в виде стендов и универсальных лабораторий, отдельных комплексных установок.

## **5.2. Бортовые средства контроля для повышения точности и стабильности позиционирования наземных объектов**

В некоторых случаях наземный внешний осмотр: осязательный и звуковой, визуальный, автоматизированный тестовый, не может обеспечить необходимую достоверность технического состояния и нахождения неисправностей крайне сложной техники авиации, если они проявляются только при ее функционировании. А значит все большее применение находят функциональные системы диагностирования. К их числу можно отнести бортовые и наземно-бортовые автоматизированные системы контроля и прогнозирования состояния объектов авиационной техники.

Существующие методы и средства дополняют друг друга определенным образом. Следовательно, они применяются в заданной последовательности - начинают с внешнего осмотра, заканчивают более сложным аппаратным методом.

Бортовые автоматизированные средства контроля предназначены для обеспечения оптимизации, управления состояниями объектов в полете, контроля состояния, а также контроля координат движения ЛА.

Они собирают и обрабатывают информацию о состоянии объектов, координатах их перемещения. Результаты поступают в виде сигналов об отказах оборудования авиационной техники и предупреждают о выходе на критический режим полета, которые, в

свою очередь, принимают решения и управляют объектами, не допуская опасные аварийные ситуации. По принципу построения и объему решаемых задач бортовые средства контроля подразделяются на:

- централизованные;

- децентрализованные.

Централизованные средства обеспечивают в едином устройстве автоматизированный контроль технического состояния объекта и параметров полета с обработкой всей информации о полетных данных, в качестве которого может быть использована обычная электронная цифровая вычислительная машина. Эти средства выполняют функции контроля и управления объектом в случае возникновения опасных режимов полета, в условиях отказа по определенным алгоритмам, обеспечивающим наибольший уровень безопасности и вероятности завершения полета.

Децентрализованные средства строятся по принципу раздельного контроля состояния объектов и некоторых групп параметров полета ЛА. Они решают частные задачи. К ним можно отнести различные блоки безопасности, встроенного контроля, ограничений, подсказок пилоту и др.

К блокам контроля и безопасности относятся блоки контроля силовой установки и безопасности системы управления. Блоки ограничения контролируют основные параметры полета и подают сигналы пилоту, на органы управления, а при выходе на критические режимы полета, в дополненных блоках речевых команд образуют подсказки пилоту.

Наиболее важные системы и устройства ЛА, отказ которых может привести к летному происшествию, многократно дублированы и имеют встроенные контролирующие средства. Последние предназначены для обеспечения безопасности полета при выполнении своих основных функций:

- контроль функционирования объекта;

- оповещение экипажа о появлениях отказа;

- отключение отказавших и подключения резервных объектов;

- выдача рекомендаций о целесообразных действиях экипажа при отказе объекта.

Бортовые средства контроля - цифровая вычислительная машина, позволяющая выполнять контроль состояния объекта с несколькими уровнями срабатывания для прогнозирования дальнейшего их состояния. При использовании на земле централизованных бортовых средств контроля технического состояния объектов авиационной техники для технического обслуживания - они будут универсальными наземно-бортовыми [28, стр. 5].

Информация о техническом состоянии объекта поступает в автоматизированные устройства в непрерывном формате. Далее эта информация преобразуется и сопоставляется с информацией, находящейся в памяти, а затем регистрируется.

В зависимости от формы, в которой ведется обработка информации, поступившей от объекта контроля, автоматизированные средства контроля можно разделить на следующие классы [29, стр. 16-19]:

- цифровые - в которых информация о состоянии объекта сначала преобразуется в дискретную форму, а

затем уже обрабатывается;

- аналоговые - в которых информация обрабатывается в неизменной форме.

Цифровые автоматизированные системы контроля.

Системы, в которых обработка информации о состоянии объекта происходит в дискретной форме, являются специализированными цифровыми вычис-

лительными машинами. Для их изготовления используют информацию, полученную при исследовании методами теории информации объектов авиационной техники.

Типовая структурная схема приведена на рис. 20 – это автоматизированная система контроля с обработкой информации в дискретной форме.

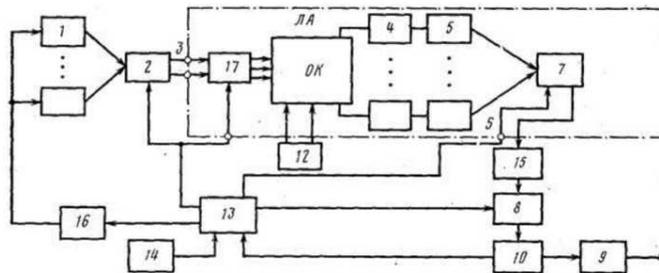


Рис. 20. Структурная схема АСК с обработкой информации в дискретной форме с уплотнением информации на борту

Аналоговые автоматизированные системы контроля.

Большинство средств контроля - аналоговые. Контроль состояния агрегатов и систем авиадвигате-

ля, планера ЛА, в основном, происходит с помощью таких средств. На структурной схеме (рис. 21) представлена типовая автоматизированная система контроля.

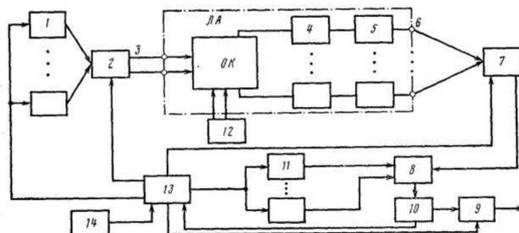


Рис. 21. Структурная схема аналоговой АСК

Основные элементы аналоговой системы контроля относящейся к наземнобортовой:

- генераторов входных сигналов (1), создающих на входе контролируемых объектов пневматические, гидравлические, электрические и другого вида сигналы возбуждения в виде синусоидальных колебаний, единичных возмущений, и т. п.;

- линий связи (6,3);

- первичных датчиков-преобразователей (4), необходимых для преобразования неэлектрических параметров в электрические и непосредственного измерения контролируемых параметров;

- нормализаторов (5), с помощью которых все преобразованные параметры приводятся к некоторым, удобным для ввода в автоматизированные средства контроля, уровням;

- коммутаторов (7), используемых для коммутации сигналов от нормализаторов на линию связи средств контроля с бортом ЛА или коммутации сигналов на вход контролируемых объектов;

- сравнивающих устройств (компараторов) (8);

-устройства (9) регистрации результатов контроля;

- анализаторов ошибки (10);

-генераторов эталонных сигналов (11), воспроизводящих нормативно-технические параметры, с которыми производится сопоставление результатов контроля;

- источников питания (12,14);

- программирующего устройства (13).

Это средство контроля состоит из бортовой и наземной части. К бортовой относятся:

- некоторая часть генераторов входных сигналов;

- устройства уплотнения информации;

- нормализаторы;

- первичные датчики-преобразователи;

- бортовые разъемы.

Наземная часть представляет собой средство специального применения аналогового типа, предназначенного для обработки и регистрации информации о состоянии объекта. Элементы, входящие в наземную часть, применяются как в аналоговых средствах, так и в цифровых, но некоторые все же только в средствах контроля аналогового типа.

Аналоговый тип используются, в основном, в качестве специализированных средств, и предназначен для проверки состояния определенных объектов. При повышении числа параметров объекта аналоговые средства становятся менее универсальными и надежными, чем дискретные. Кроме того, они ограничены в объектах авиационной техники для решения логических задач при определении неисправностей, а прогнозирование состояния практически неосуществимо. В связи с этим в последнее время все больше средств контроля состояния строится на основе процессоров.

За счет информационного сжатия на борту сокра-

щается число линий связи наземной части с бортом. Кроме основных элементов схемы, приведенных на рисунке 14, так же имеются:

- цифровые компараторы (10)
- преобразователь (15) непрерывных параметров в дискретные;
- преобразователь (16) дискретных параметров в непрерывные;
- и др.

Цифровых автоматизированные системы в цифровой код преобразуют следующие величины:

- частоту синусоидальных колебаний;
- напряжение постоянного и переменного тока;
- импульсное напряжение;
- временные интервалы и т.д.

Преобразования аналоговых величин происходит с точностью 0,1-0,5%, а время преобразования напряжений менее 3,5 мкс.

Наиболее распространены преобразователи, принцип которых основан на времяимпульсном кодировании. Преобразуемое непрерывное напряжение сравнивается с напряжением от линейного генератора. При совпадении напряжений получается импульс. Преобразователь состоит из 2 основных элементов: генератор напряжения и счетчик импульсов, укладывающихся во временном интервале.

Требования, предъявляемые к преобразователям аналоговых величин в дискретные - простота, надежность, точность устройства.

Основное преимущество времяимпульсного кодирования - это отсутствие в ней логических устройств и простота схемы, а к недостаткам можно отнести сравнительно невысокую скорость.

## Заключение

В работе рассмотрены спутниковые навигационные системы путем реализации проекта методики повышения точности позиционирования летальных объектов за счет дополнительных наземных средств.

В работе проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных спутниковых навигационных систем, осуществить обзор дополнительных средств, использующихся для повышения точности позиционирования, выбрать сферу практического применения спутниковых навигационных систем, спроектировать методику повышения точности и стабильности за счет наземных средств, реализовать проект методики повышения точности позиционирования за счет наземных средств в международном национальном аэропорте Жуковский.

## Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00445.

## Библиографический список

[1] Techniques for reducing the near-far problem in indoor geolocation systems / Jonathan M. Hill, Ilir F. Progni, W. R. Michalson // Proc. of the 2001 NTM. - Institute of Navigation, Long Beach, USA, 22-24

January. - 2001.

- [2] Augmenting GPS by ground-based pseudolite signals for airborne surveying applications / H. K. Lee, J. Wang, C. Rizos, T. Tsujii // Survey Review. - 2005. - № 38 (296).
- [3] А.В. Журавлев, В.М. Безмага. Навигационные комплексы наземных мобильных средств // Новости навигации - 2009 - № 1
- [4] Карлашук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства / В.И. Карлашук. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. - 284 с. - ISBN 978-5-91359-0374. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт].
- [5] Глобальные навигационные спутниковые системы : учебное пособие / С.И. Волков, А.В. Саяпин, П.В. Барабицкий [и др.]. - М.: Институт аэронавигации, 2017. - 122 с. - ISBN 2227-8397. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/88416.html>
- [6] Основы радиоэлектроники : учебное пособие для среднего профессионального образования / М. Ю. Застела [и др.] ; под общей редакцией М. Ю. Застела. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 495 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-10313-7. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/442508> (дата обращения: 06.11.2019).
- [7] Сурков В.О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Молодой ученый. - 2015. - № 9.
- [8] Rizos C. Pseudolite Augmentation of GPS [Электронный ресурс] / C. Rizos // Workshop on Geolocation Technology to Support UXO Geophysical Investigations. - 2005. - Режим доступа: <https://www.semanticscholar.org/paper/Pseudolite-Augmentation-of-GPS-Rizos/7123372716577e80dbd55289f6685b571ee5baa9>
- [9] Комраков Д.В. Технологии позиционирования наземных подвижных объектов в сетях GSM // Технические науки в России и за рубежом (II): материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). - М.: Буки-Веди, 2012.
- [10] Ткаченко А.А. Особенности применения радионавигационных систем локального позиционирования на основе псевдоспутников / А. А. Ткаченко, В. А. Кочура, В. Н. Дейнеко, Ю. В. Резников // Системи обробки інформації. - 2011. - № 5.
- [11] Система топографического ориентирования «Трона-1» // Обозрение армии и флота - 2007. - № 4.
- [12] Белов Л.А. Радиоэлектроника. Формирование стабильных частот и сигналов : учебник для бакалавриата и магистратуры / Л. А. Белов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 229 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс). - ISBN 978-5-534-09062-8.

- Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/441251> (дата обращения: 06.11.2019).
- [13] Радионавигационный план Рос. Федерации: утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 2 сентября 2008 г. № 118; в редакции приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 31 августа 2011 г. № 1177. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
- [14] Островский, А.Б. Астрометрия. Учебная практика : учебное пособие для вузов / А. Б. Островский ; под научной редакцией Э. Д. Кузнецова. - Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. - 149 с. - (Университеты России). - ISBN 978-5-534-08004-9 (Издательство Юрайт). - ISBN 978-5-7996-1690-8 (Изд-во Урал. ун-та). - Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/441564> (дата обращения: 06.11.2019).
- [15] Сурков В.О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики/ В. О. Сурков // Молодой ученый. - 2013. - № 7.
- [16] Сурков В.О. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем навигации подвижных наземных объектов // Молодой ученый. - 2015. - № 13.
- [17] Сейдж Э.П., Мелс Дж. Теория оценивания и её применение в связи и управлении. - М.: Связь, 1976.
- [18] Комраков Д.В. Навигационные комплексы наземных мобильных средств / Д. В. Комраков // Технические науки: теория и практика: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). - Чита: Издательство Молодой ученый, 2012.
- [19] Трофимов В.В. Информационные технологии в 2 т: учебник для академического бакалавриата / В.В. Трофимов; под редакцией В.В.Трофимова. - Москва : Издательство Юрайт, 2016. - 628 с. - (Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-9916-5037-3. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/393083> (дата обращения: 06.11.2019).
- [20] Сурков В.О. Направления повышения качества функционирования навигационных систем для подвижных наземных объектов при решении навигационных задач // Молодой ученый. - 2015. - № 13.
- [21] Берикашвили, В.Ш. Радиотехнические системы: основы теории : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Ш. Берикашвили. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 105 с. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/441142>
- [22] Вострокнутов А.Л. Основы топографии: учебник для академического бакалавриата / А.Л. Вострокнутов, В.Н. Супрун, Г.В. Шевченко ; под общей редакцией А.Л. Вострокнутова. - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 196 с. - (Бакалавр. Академический курс. Модуль). - ISBN 978-5-9916-9797-2. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/437977> (дата обращения: 06.11.2019).
- [23] Kanli M. Limitations of pseudolite systems using off-the-shelf GPS receivers [Электронный ресурс] // Int. Symposium on GNSS/GPS. - Sydney, Australia, 6-8 December. - 2004. - Режим доступа к ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/228872109\\_Limitations\\_of\\_pseudolite\\_systems\\_using\\_off-the-shelf\\_GPS\\_receivers](https://www.researchgate.net/publication/228872109_Limitations_of_pseudolite_systems_using_off-the-shelf_GPS_receivers)
- [24] Сурков В.О. Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS // Молодой ученый. - 2013. - № 6.
- [25] Яроцкая Е.В. Географические информационные системы : учебное пособие / Е.В. Яроцкая, А.В. Матвеева, А.А. Дьяченко. - Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. - 146 с. - ISBN 978-5-4497-0033-9. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/85744.html> (дата обращения: 05.11.2019).
- [26] Латышенко К.П. Технические измерения и приборы в 2 т. Том 2 в 2 кн. Книга 2 : учебник для академического бакалавриата / К. П. Латышенко. - 2е изд., испр. и доп. - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 232 с. - (Университеты России). - ISBN 978-5-534-04196-5. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/444105> (дата обращения: 06.11.2019).
- [27] Золотарев О.В. Методы и инструменты моделирования предметной области. В сб. трудов по материалам конференции «Цивилизация знаний: Проблемы социальных коммуникаций» – М.: РосНОУ, 2012. с.71-72.
- [28] Антимиров, В. М. Системы автоматического управления: бортовые цифровые вычислительные системы : учебное пособие для вузов / В.М. Антимиров; под научной редакцией В.В. Телицина. - Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. - 71 с. - (Университеты России). - ISBN 978-5-9916-9907-5 (Издательство Юрайт). - ISBN 978-5-7996-1918-3 (Изд-во Урал. ун-та). - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.urait.ru/bcode/438166> (дата обращения: 06.11.2019).
- [29] Иванов А.В. Совместная обработка информации спутниковых радионавигационных систем и наземных сетевых систем в навигационных системах подвижных наземных объектов / Иванов А.В., Гостев А.В., Семенов А.А., Соколовская Л.В. / Радиотехника. - Москва, № 4.- URL: <http://www.iprbookshop.ru/65412.html>