

# **ПОСТРОЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ПСЕВДОСПУТНИКОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ФОРМИРОВАНИЯМИ МЧС РОССИИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**С.Н. Терехин, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.  
С.П. Баринов, кандидат технических наук.  
Российский институт радионавигации и времени**

Рассмотрены вопросы управления аварийно-спасательными формированиями с точки зрения боевой системы. Проведен анализ характеристик навигационного поля глобальных навигационных спутниковых систем. Предложено решение проблемы позиционирования подразделения пожарной охраны МЧС России путем создания наземной аппаратуры навигационных сигналов. Представлена структура наземной аппаратуры навигационных сигналов.

*Ключевые слова:* навигационное поле, псевдоспутник, высокоэллиптические орбиты, наземная аппаратура навигационных сигналов

## **FORMATION OF NAVIGATION SYSTEM BASED ON PSEUDO- SATELLITES IN SOLVING PROBLEMS OF CONTROL OF RESCUE UNITS OF EMERCOM OF RUSSIA IN CASE OF EMERGENCY SITUATIONS**

S.N. Terekhin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.  
S.P. Barinov. Russian institute of radio navigation and time

The problems of the emergency and rescue units managing from the perspective of the combat system are considered. The analysis of the characteristics of the navigation field of global navigation satellite systems was held. The solution of the problem of positioning fire service of EMERCOM of Russia units through the creation of ground-based equipment of navigation signals is proposed. The structure of the ground-based equipment of navigation signals is presented.

*Key words:* navigation field, pseudo satellite, highly elliptical orbits, ground-based equipment of navigation signals

Процесс управления аварийно-спасательными формированиями характеризуется целым рядом отличительных особенностей с точки зрения боевой системы:

1. Процесс управления в боевой системе всегда инициируется лицом, принимающим решение (ЛПР). Это означает, что лицо, принимающее решение, формирует и реализует процесс управления либо относительно внешней цели (задачи), то есть цели (задачи), поставленной старшим начальником, либо сам формирует и реализует цель (задачу) действий своей системы на основе предоставленных полномочий, оценки обстановки и

предназначения системы. При этом действия ЛПР в процессе управления носят сознательный осмысленный характер. Способность ЛПР к самостоятельному целеполаганию в пределах своих полномочий существенно повышает устойчивость процесса управления, особенно в кризисных ситуациях.

2. Процесс управления в боевой системе является целенаправленным. Он всегда формируется и развивается относительно конкретной цели (задачи). Устранение или изменение цели (задачи) ведет к ликвидации процесса управления или изменению его содержания. Отсутствие цели (задачи) не позволяет ЛПР строить свое поведение (принимать осмысленные решения) относительно отдельных объектов управления и системы в целом и, в конечном счете, ведет к деградации системы.

3. Процесс управления в боевой системе является циклическим. Многолетней практикой установлено, что последовательность действий ЛПР при реализации процесса управления включает шесть устойчивых этапов: оценку обстановки, выработку замысла, принятие решения, планирование, отдачу и доведение приказаний, контроль исполнения. Наиболее сложным и ответственным является этап принятия решения. Решение, принятое ЛПР, составляет основу процесса управления. Для достижения поставленной цели (задачи) все перечисленные этапы могут повторяться многократно, образуя цикл управления относительно всей боевой системы.

В процессе управления подразделениями пожарной охраны МЧС России при проведении аварийно-спасательных работ и тушении пожаров одним из специфических аспектов является применение псевдоспутников (ПС) для позиционирования подразделений пожарной охраны МЧС России.

Как известно, глобальные навигационные системы ГЛОНАСС и GPS формируют неразрывное навигационное поле до высот 2000–3000 км над поверхностью Земли. То есть средне- и высокоорбитальные космические аппараты (КА), в том числе геостационарные (на геостационарных орбитах (ГСО)) КА, жестко нуждающиеся в высокоточном навигационном оборудовании для контроля отклонений от предписанной позиции стояния на орбите, при использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) работают по ограниченному числу КА. Аналогичная ситуация на большей части траектории характерна и для КА на высокоэллиптических орбитах (ВЭО). При этом уровень сигналов ГНСС, принимаемых аппаратурой КА, существенно ниже предписанного нормативной документацией на ГНСС [1].

Названные обстоятельства приводят к ухудшению точностных характеристик навигационных определений КА по сравнению с режимом стандартного использования систем ГЛОНАСС и GPS наземными потребителями.

Навигационное поле ГНСС, образуемое на больших высотах не отраженными от поверхности Земли сигналами НКА, имеет структуру пересекающихся кольцевых полос. Характер и пространственное расположение данных полос зависит от следующих факторов:

- пространственного расположения НКА;
- характеристик передающей навигационный сигнал антенны НКА;
- характеристик приемной антенны навигационной аппаратуры потребителя, размещенной на борту КА;
- энергетических характеристик радиолинии между НКА и КА, в частности, от коэффициента усиления приемной антенны навигационной аппаратуры потребителя на борту КА, минимальной чувствительности НАП и мощности навигационного сигнала НКА ГЛОНАСС/GPS на всех типах орбит.

Все это усложняет условия навигации КА по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS и требует разработки специализированных алгоритмов, учитывающих разрывный характер навигационного поля и недостаточное количество радиовидимых НКА (как правило, не более 3–4 НКА одновременно для геостационарной орбиты и высокоэллиптической орбиты КА).

Для повышения точностных характеристик КА, доступности и надежности обеспечения позиционирования подразделений пожарной охраны МЧС России целесообразно применять дифференциальный метод навигации.

В классическом варианте дифференциальной навигации (КА использует радионавигационные сигналы от спутников, а дифференциальные поправки от наземной контрольно-корректирующей станции (ККС), передаваемые на КА по каналам цифровой связи) возможно обеспечение требуемой точности навигационных определений лишь только по плановым координатам КА.

При этом остается проблема выполнения требований по целостности, то есть вероятности оповещения КА о возможных сбоях в работе той или иной радионавигационной точки за время не более заданного.

Использование псевдоспутника, то есть размещение в зоне радиовидимости КА дополнительной радионавигационной точки, расположенной в нижней полусфере, существенно улучшает геометрический фактор.

Если предписать ПС дополнительно функции контрольно-корректирующей станции КА, точность дифференциальных навигационных определений и доступность такого радионавигационного поля будут существенно улучшены.

Такое решение, кроме повышения точности и доступности, позволяет:

- за счет передачи корректирующей информации в навигационном сигнале ПС использовать дифференциальные методы на КА, не оснащенных аппаратурой цифровой связи;

- вследствие оценки работоспособности всех радиовидимых навигационных спутников аппаратурой ПС, путем передачи этой информации в составе сигнала ПС, приема и обработки ее непосредственно в навигационном приемнике КА обеспечить выполнение требований к оперативности оповещения об отказах (целостности);

- передавать на КА формализованные цифровые сообщения от центра управления связью в структуре цифрового кадра навигационного сигнала ПС;

- за счет использования ПС как дополнительной навигационной точки позволяет при внезапном отказе спутника в навигационном созвездии обеспечить высокоточное определение координат КА.

Зарубежными аналогами ПС являются системы The DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) и The PRARE (Precise Range And Range-Rate Equipment), данные системы могут выполнять малую часть функций ПС, и их сеансы работы являются дорогостоящими [2].

Отечественным аналогом является Командно Измерительная Система (КИС). Данная система выполняет лишь малую часть функций, обладает крупными габаритами и немобильна.

В связи с этим, для обеспечения задач автономного навигационно-баллистического обеспечения (НБО) высокоорбитальных КА, необходимо развитие функциональных дополнений ГНСС путем создания наземной аппаратуры навигационных сигналов (НАНС), обладающей малыми габаритами, мобильностью, работающей в автоматическом режиме, не требующей больших финансовых затрат при эксплуатации.

Создание НАНС позволит улучшить условия навигации путем передачи по радиолинии Земля–КА в L-диапазоне дополнительных навигационных сигналов, аналогичных по структуре и частотному плану сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS, но со своим составом навигационного сообщения. Использование НАНС для навигации КА на ВЭО и ГСО позволит обеспечить более высокие требования по точности определения орбитальных параметров КА.

Для реализации автономного НБО высокоорбитальных КА НАНС должна выполнять следующие задачи:

- формирование навигационного сигнала по структуре и частотному плану подобного навигационному сигналу систем ГЛОНАСС/GPS в частотном L-диапазоне и имеющего специализированную структуру;

- формирование и передача в составе цифровой информации специального навигационного сообщения, содержащего координаты НАНС, частотные и временные поправки к шкале времени НАНС, параметры для расчета ионосферных и тропосферных поправок НАНС и другую служебную информацию;

- усиление сформированного сигнала и излучение его в направлении обслуживаемого КА;

- обеспечение сеансов работы с КА из заданной орбитальной группировки по установленной из центра управления полетом (ЦУП) циклограмме.

Возможная структурная схема НАНС представлена на рисунке.

Для выполнения всех поставленных для НАНС задач в ее состав (с учетом оснащения основного и резервного комплектов) должны входить следующие элементы:

- два модуля формирования навигационного сигнала (МФНС);

- усилитель мощности, состоящий из предварительного и оконечного усилителей;

- передающая антенная система, с полосно-пропускающим фильтром;

- система наведения передающей антенны по азимуту и углу места;

- два опорных двухчастотных навигационных приемника ГЛОНАСС/GPS с антенно-фидерным устройством (АФУ);

- два водородных стандарта частоты и времени;

- две метеостанции;

- две управляющие ЭВМ;

- комплекс программного обеспечения;

- система терморегулирования;

- резервная система гарантированного электропитания;

- комплект кабелей;

- комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей;

- эксплуатационная документация.

Приемная антенная система НАНС принимает навигационные сигналы, излучаемые с борта НКА систем ГЛОНАСС/GPS. Приемная антенная система НАНС является прецизионной антенной, имеющей нормированные фазовые характеристики (зависимость фазы сигнала на выходе антенны от направления прихода сигнала).

Антенна устанавливается на специальной позиции, имеющей геодезическую топопривязку.

Далее навигационные сигналы по антенному кабелю передаются в модуль сложения сигналов, где разветвляются на основной и резервный комплекты. Таким образом, навигационные сигналы поступают на вход опорного двухчастотного приемника ГЛОНАСС/GPS.

Опорный приемник принимает сигналы всех радиовидимых НКА систем ГЛОНАСС и GPS. Осуществляет измерение радионавигационных параметров и обработку принятых навигационных сигналов НКА. Измеренные значения РНП (с указанием моментов времени, к которым они относятся) поступают в управляющую ЭВМ (УЭВМ). Приемник ГЛОНАСС/GPS также обеспечивает обработку и передачу метеоданных в УЭВМ от метеостанции, установленной вблизи антенной системы.

Программное обеспечение УЭВМ НАНС выполняет функции управления работой НАНС, в том числе предварительную обработку измерений текущих навигационных параметров (ТНП) КА, анализ цифровой информации навигационных кадров сигналов НКА систем ГЛОНАСС/GPS, архивации данных на жесткий диск УЭВМ. Программное обеспечение УЭВМ осуществляет синхронизацию шкалы времени НАНС со шкалой времени системы ГЛОНАСС, управление системой наведения передающей антенны, автоматическую самодиагностику, и в случае отказа элемента НАНС осуществляет переключение на резервный комплект. Взаимодействие НАНС с ЦУП осуществляется через порт Internet.

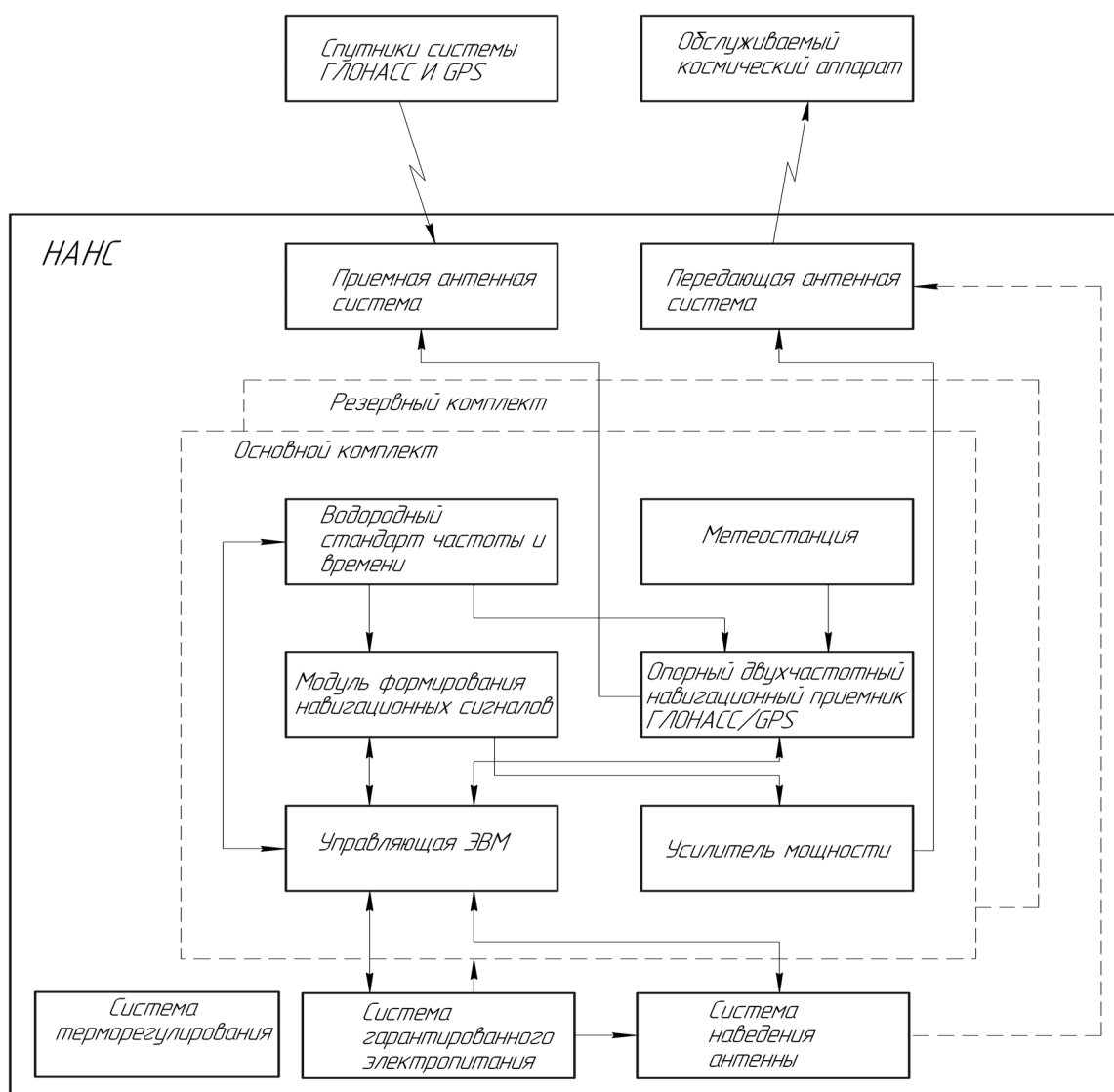


Рис. Общая структурная схема НАНС

Модуль формирования навигационных сигналов формирует специальный навигационный сигнал, по виду и структуре подобный навигационному сигналу систем ГЛОНАСС/GPS со специальным навигационным сообщением, содержащим, временные и частотные поправки, параметры для расчета ионосферных и тропосферных поправок и другую служебную информацию.

Далее, в усилителе мощности происходит усиление сформированного сигнала и излучение с помощью передающей параболической антенны в направлении обслуживаемого КА.

Для наведения сигнала на обслуживаемый КА используется система наведения антенны. Наведение передающей антенны на обслуживаемый космический аппарат осуществляется по заданной циклограмме.

Для обеспечения непрерывного обслуживания КА возможна комплектация НАНС более чем одним передающим антенным постом. В пределах для каждого КА из обслуживаемой орбитальной группировки свой антенный пост, включающий СНП, опорно-поворотное устройство и параболическую передающую систему.

Шкала времени и сетка частот МФНС и опорного приемника синхронизируются от общего опорного генератора. Высокоточный сигнал метки времени и частоты поступает на

МФНС и опорный приемник ГЛОНАСС/GPS от высокостабильного водородного стандарта частоты и времени, корректируемого по сигналам системы ГЛОНАСС.

Синхронизация шкалы времени осуществляется в два этапа. Первым этапом является начальная привязка шкалы времени к внешнему синхронизирующему сигналу 1 Гц, а вторым этапом осуществляется подстройка до необходимой точности.

Коррекция шкалы времени и частоты может осуществляться двумя способами.

1. Управление начальной привязкой шкалы времени к внешнему сигналу синхронизации 1 Гц и последующей подстройкой шкалы времени, путем изменения кода синтезатора частоты водородного стандарта частоты и времени. Для начальной привязки шкалы времени необходимо подать на вход синхронизации водородного стандарта выходной импульсный сигнал 1 Гц от приемника навигационных сигналов.

Начальная привязка шкалы времени возможна с погрешностью  $\pm 50$  нс. Для подстройки шкалы времени на 10 нс за требуемое время необходимо изменение кода частоты.

Из этого следует, что чем стабильнее необходимо управление, тем больше для этого понадобится времени и наоборот.

Недостатком способа является необходимость изменения частоты водородного стандарта, что повлияет на ее стабильность.

2. Управление начальной привязкой шкалы времени к внешнему сигналу синхронизации 1 Гц и последующей подстройкой шкалы с шагом 10 нс. Подстройка шкалы времени осуществляется выдачей команды от УЭВМ на коррекцию оцифровки шкалы времени водородного стандарта.

Для реализации данного варианта требуется возможность коррекции оцифровки шкалы времени от УЭВМ [3,4].

Недостатком способа является необходимость дополнительной доработки блока формирователя опорных сигналов водородного стандарта частоты и времени в связи с отсутствием возможности коррекции оцифровки времени.

Необходимо проведение расчета тропосферных, ионосферных параметров и временных поправок, измерение систематических задержек в трактах на этапе изготовления НАНС.

Система гарантированного электропитания обеспечивает аппаратуру НАНС необходимыми номиналами напряжений электропитания соответствующей мощности, формируя их из напряжения первичной сети (220 В переменного тока). При отключении напряжения первичной сети (например, в результате аварии) производится автоматический переход на батарейное питание и работа НАНС не прерывается. При восстановлении напряжения первичной сети производится обратное переключение и обеспечивается подзарядка батарей.

Для получения оценки эффекта от использования НАНС было проведено программно-математическое моделирование. Для моделирования использовались следующие исходные данные:

- использовался полный состав ГНС ГЛОНАСС (24 НКА);
- для расчета положения НКА ГЛОНАСС использовался альманах ГНС ГЛОНАСС, полученный с борта НКА, отсутствующие в системе аппараты заменялись их расчетными аналогами с учетом свободных орбитальных позиций;
- среднеквадратическое значение погрешности измерения псевдодальности между КА и НКА составляло 20 м (включая погрешности эфемерид НКА, частотно-временных параметров (ЧВП) НКА и погрешности измерения на борту КА);
- использовались номинальные орбиты КА из состава КС 14К034;
- среднеквадратическое значение погрешности измерения радиальной псевдоскорости между КА и НКА составляло 3 см/с (включая погрешности эфемерид НКА, ЧВП НКА и погрешности измерения на борту КА);

– среднеквадратическое значение погрешности измерения псевдодальности между КА и НАНС составляло 5 м (включая погрешности знания координат фазового центра передающей антенны НАНС, ЧВП НАНС, учета тропосферы, учета ионосферы и погрешности измерения на борту КА);

– среднеквадратическое значение погрешности измерения радиальной псевдоскорости между КА и НАНС составляло 1 см/с (включая погрешности знания координат фазового центра передающей антенны НАНС, ЧВП НАНС, учета тропосферы, учета ионосферы и погрешности измерения на борту КА);

– моделировалось 50 реализаций для определения среднего значения и среднеквадратического отклонения параметров орбиты КА.

Среднеквадратические значения погрешности измерения псевдодальности и радиальной псевдоскорости между КА и НКА брались исходя из характеристик спутниковых навигационных систем, приведенных в соответствующих интерфейсных контрольных документах.

Среднеквадратические значения погрешности измерения псевдодальности и радиальной псевдоскорости между КА и НАНС брались по аналогии с соответствующими значениями при измерении по НКА с тем различием, что при измерении между КА и НАНС погрешности эфемерид НАНС являлись пренебрежимо малыми [5].

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

Навигационное поле ГНС ГЛОНАСС и GPS на геостационарной и высокоэллиптической орбитах имеет разрывный характер, что приводит к ухудшению характеристик автономного навигационно-баллистического обеспечения высокоорбитальных КА, основанного только на использовании сигналов НКА ГНС. Использование функциональных дополнений ГНС в виде псевдоспутников позволяет обеспечить целостность навигационного поля для ВЭО и ГСО КА.

Для КА на высокоэллиптических орбитах при использовании совместно с ГНС трех ПС среднеквадратическое отклонение погрешности определения координат уменьшается до 30 метров (относительно 70 метров в варианте работы только по одной системе ГЛОНАСС), а среднеквадратическое отклонение погрешности определения вектора скорости уменьшается до 10 мм/сек (относительно 20 мм/сек в варианте работы только по одной системе ГЛОНАСС).

Использование ПС для навигационно-баллистического обеспечения КА на геостационарной орбите не приводит к существенному уменьшению погрешности определения координат и вектора скорости КА.

Для надежного обслуживания целевой орбитальной группировки КА на территории РФ необходимо развернуть на менее трех ПС. Для обеспечения полного покрытия орбитальной группировки КА необходимо разместить как минимум один ПС за пределами территории РФ в западном полушарии на Американском континенте.

## **Литература**

1. Иванов А.И., Романов Л.М. Полигонные навигационные измерения с использованием спутниковой радионавигационной системы NAVSTAR // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 11. С. 16–29.

2. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и [др.] Сетевые спутниковые радионавигационные системы / под ред. В.С. Шебшаевича. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1993. 408 с.

3. Научно-технический отчет о НИР «Лощман-РИРВ». СПб.: ОАО «РИРВ», 2009.

4. Научно-технический отчет о НИР «Комплекс-РИРВ». Кн. 6. СПб.: ОАО «РИРВ», 2010.

5. Власов И.Б., Гребенников А.В., Завгородний Д.В. и [др.] Методика и результаты аттестации канала ретрансляции сигналов СРНС // Радиолокация, навигация и связь: сб. тр. Междунар. конф. Воронеж, 2004. С. 1674–1684.