

11.Авиационные DGNSS

11.1 Концепция построения авиационной DGNSS

Технология спутниковой навигации является одной из наиболее динамично развивающихся спутниковых технологий. Уже первые исследования, проведенные в Украине, подтвердили, что обеспечение необходимой точности определения местонахождения транспортных средств, особенно авиации, требует использования дифференциального режима спутниковых систем радионавигации. В ограниченной зоне действия (до 50 км) применение дифференциального режима может обеспечить выполнение требований стандартов и рекомендованной практики ИКАО для задачи обеспечения точных заходов на посадку по первой категории метеоминимума.

Эта задача решается локальными контрольно-корректирующими станциями (ККС). Под термином локальная понимается, что в зоне видимости станции и в зоне видимости воздушного судна во время проведения навигационных определений находятся одни и те же спутники, для которых станция вырабатывает корректирующую информацию (термин корректирующая). Под термином контрольная понимается, что станция выполняет функции контроля за состоянием навигационных спутников и вырабатывает информацию о целостности, надежности, эксплуатационной готовности, точности и доступности GNSS.

В настоящее время техника локальных контрольно-корректирующих станций, обеспечивающих точные заходы на посадку, из стадии обсуждения концепций и экспериментальных исследований начала переход в стадию разработки опытных образцов и практического применения. Так, например, на базе локальных контрольно-корректирующих станций разрабатывается национальная система навигации и посадки воздушных судов в ФРГ, находятся в федеральном авиационном управлении США на сертификации контрольно-корректирующие станции DIAS-3100 DGPS и APR-4000 DGPS, разработанные фирмами Raytheon System Co. (США) и Rocwell Collins (США) соответственно; введены в эксплуатацию в нескольких портах США и Канады контрольно-корректирующие станции SLS-2000 фирмы Honeywell (США), обеспечивающие заход на посадку по специальной первой категории метеоминимума SCAT I, активно разрабатываются контрольно-корректирующие станции для обеспечения точных заходов на посадку во Франции и в ряде других стран [37]. Специалистами Бюро ИКАО по GNSS (GNSSP) разработан проект Стандартов и Рекомендованной практики по GNSS, включающий требования к наземным локальным системам обеспечения навигации и посадки вплоть до точного захода на посадку по первой категории метеоминимума. Согласно планам ИКАО после рассмотрения государствами проект Стан

дартов и Рекомендованной практики по GNSS будет введен в действие. Бюро ИКАО по GNSS в ближайшее время планирует, учитывая темпы развития техники локальных контрольно-корректирующих станций, разработать проекты Стандартов и рекомендованной практики для осуществления посредством дифференциальной спутниковой навигации точных заходов на посадку по второй и третьей категориям метеоминимума.

Ускоренные темпы развития технологии спутниковой навигации, включая технику локальных контрольно-корректирующих станций, позволяют прогнозировать, что после ввода в 2001-2008 гг. в эксплуатацию систем широкозонного дополнения WAAS (США) и EGNOS (Европейское сообщество), системы контрольно-корректирующих станций LAAS (США), Европейского созвездия навигационных спутников Galileo задача перехода к спутниковой навигации как к единственному виду аэронавигации и единственному виду аэронавигационного обслуживания гражданских и военных воздушных судов будет решена ранее 2015 г. Первым этапом на этом пути будет исключение из состава аэродромного оборудования ненаправленных радиомаяков (NDB), ненаправленных ОВЧ-радиомаяков (VOR) и эволюционная замена ILS и MLC локальными контрольно-корректирующими станциями .

Состав ККС определяется ее функциями и должен включать:

антенны GNSS, обеспечивающие прием, селекцию и усиление радионавигационных сигналов со спутников;

навигационные приемники для первичной и вторичной обработки навигационных сигналов, объединенные, например, в блок GNSS датчиков;

вычислительное устройство (блок обработки данных), осуществляющее интегральную обработку информации с блока GNSS датчиков, выработку корректирующей информации, формирование данных для передачи на борт воздушного судна, выработку соответствующих типов сообщений, предусмотренных применяемыми стандартами;

передатчик ОВЧ-диапазона;

антенну ОВЧ-диапазона;

контрольный приемник ОВЧ-диапазона.

Схема ККС с обозначенным выше составом изображена на рис. 11. 1.

Концепция построения ККС по схеме рис. 11. 1 характеризуется следующими принципиальными особенностями.

Центральным звеном ККС является блок обработки данных, который представляет собой специализированное вычислительное устройство (промышленный компьютер). Программное

обеспечение блока обработки данных решает задачи по выработке и формированию корректирующей информации, а также обработке и предоставлению данных мониторинга (целостности, надежности, эксплуатационной готовности и доступности GNSS при требуемом уровне точности). Что же касается остальных составляющих ККС: блока датчиков GNSS, передатчика корректирующей информации, контрольного приемника, то они являются источниками данных для блока обработки, либо потребителями информации, выработанной в блоке обработки данных.

В блоке датчиков GNSS и блоке обработки данных нет явно выраженного основного и резервного функционального элемента. Все составляющие этих блоков несут равномерную функциональную нагрузку и при отказе элемента или группы элементов технические характеристики ККС остаются в допустимых пределах для нормального функционирования.

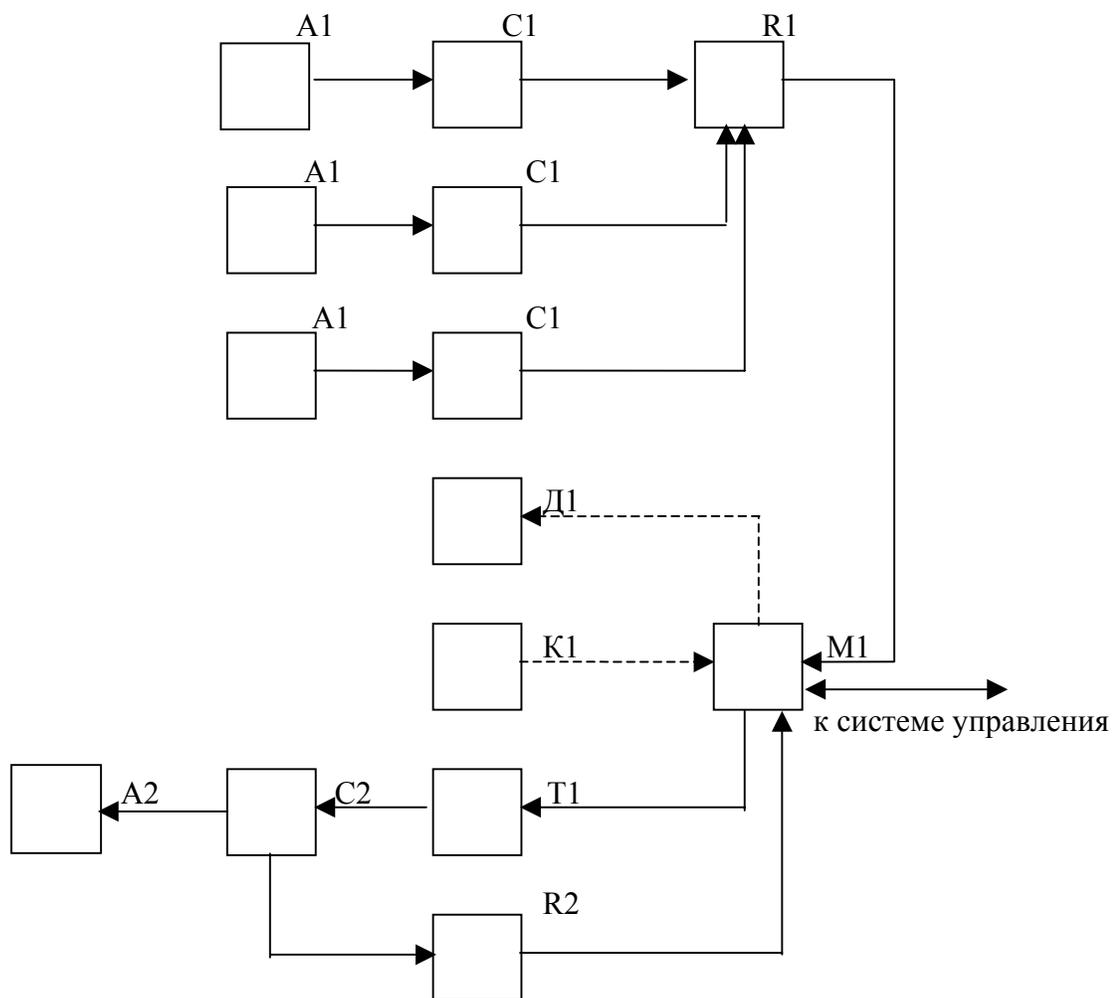
Обеспечивается максимальная реализация принципа модульности, возможность практически безболезненной модернизации составных частей ККС, независимость выбора от требуемого стандарта форматирования корректирующей информации, типа GNSS- приемников, так как эта операция осуществляется с помощью блока обработки данных и может быть осуществлена доработкой программного обеспечения, а не аппаратуры ККС.

Приведенная концепция схемно-конструктивного решения ККС следует из тенденций развития техники ККС для обеспечения точных заходов воздушных судов на посадку. Она дает возможность модернизировать ККС для задачи обеспечения точных заходов на посадку по второй и третьей категории метеоминимума путем, например, наращивания вычислительной мощности блока обработки данных, совершенствования его программного обеспечения, использования более совершенных GNSS приемников и GNSS антенн, а также увеличения их количества.

11.2 Алгоритм функционирования ККС

Радионавигационные сигналы навигационных спутников принимаются тремя антеннами GNSS. Применение трех антенн обеспечивает повышенную надежность непрерывного функционирования ККС (минимально необходимыми являются две антенны) и уменьшение влияния многолучевого приема на точность дифференциальных поправок вследствие рандомизации многолучевого приема.

Сигналы с антенн GNSS через коаксиальные кабели поступают в навигационные приемники GNSS, расположенные в блоке датчиков GNSS. Выходные сигналы датчиков GNSS в виде



Поз. обознач.	Наименование	Колич.
A1	Антенна GNSS	3
A2	Антенна ОБЧ	1
C1	СВЧ тракт	3
C2	ОБЧ тракт	1
R1	Блок датчиков GNSS	1
R2	Контрольный приемник	2
M1	Блок обработки данных	1
Д1	Монитор	1
К1	Клавиатура	1
T1	Передатчик корректирующей информации	2

Рис. 11.1 Схема ККС

"сырой" информации (измеренные псевдодальности до наблюдаемых навигационных спутников, время измерения, эфемериды навигационных спутников, альманах), а также вычисленные дифференциальные поправки к псевдодальностям и к скорости измерения псевдодальностей в форматах стандарта NMEA 0183 или другого стандарта, через много проводные кабели и многоканальный преобразователь поступают в блок обработки данных. При этом в составе блока датчиков GNSS не выделяются основные и резервные навигационные приемники. Сигналы всех датчиков GNSS поступают в блок обработки данных. Избыточное количество датчиков GNSS (минимально необходимое - 2 комплекта) обеспечивает повышенную надежность непрерывного функционирования блока датчиков GNSS, а также возможность уменьшения погрешности значений измеренных псевдодальностей к наблюдаемым навигационным спутникам путем усреднения при обработке выходных данных блока датчиков GNSS в блоке обработки данных. Кроме того, при количестве датчиков GNSS больше двух возникает возможность контроля качества их функционирования путем сопоставления их выходных сигналов. Поскольку вероятность одновременного (в течение короткого интервала времени) отказа двух датчиков GNSS крайне мала по сравнению с вероятностью отказа одного из датчиков GNSS, то выход за установленные пределы различия выходных сигналов датчиков GNSS позволяет установить отказавший элемент. Вероятность обнаружения подобным образом отказавшего датчика GNSS возрастает с увеличением их количества. С увеличением количества датчиков GNSS появляется возможность уменьшения погрешности определения псевдодальностей при обработке выходных сигналов в блоке обработки данных, обусловленная объемом выборки случайных величин, какими вследствие влияния шумов, являются измеренные псевдодальности.

Блок обработки данных вычисляет дифференциальные поправки псевдодальностей к навигационным спутникам и скоростей изменения псевдодальностей, оценивает погрешности дифференциальных поправок, определяет здоровье навигационных спутников в соответствии с критериями для точного захода на посадку, а также другие данные, входящие в состав корректирующей информации, и формирует сообщения соответствующего типа. Блок обработки данных осуществляет также контроль штатного функционирования блока датчиков GNSS, контрольного приемника ОВЧ-диапазона и передатчика корректирующей информации, обеспечивает связь с системой управления.

Сформированные в блоке обработки данных типы сообщений с корректирующей информацией через соответствующий порт интерфейса RS-232 или RS-422 поступают на вход передатчика ОВЧ-диапазона.

Передатчик корректирующей информации осуществляет генерацию несущего высокочастотного колебания, осуществляет его модуляцию поступившим на его вход выходным сигналом блока обработки данных, а также усиление модулированного радиосигнала. С выхода передатчика радиосигнал с корректирующей информацией через всенаправленную антенну ОВЧ-диапазона излучается в эфир.

Контрольный приемник ОВЧ-диапазона осуществляет прием излученного радиосигнала с корректирующей информацией, демодулирует принятый сигнал и направляет в блок обработки данных цифровую информацию, представляющую собой корректирующую информацию, поступающую на вход бортового GNSS приемника.

В блоке обработки данных корректирующая информация, поступившая с контрольного приемника ОВЧ-диапазона, сопоставляется с корректирующей информацией, поступившей на вход передатчика корректирующей информации, и по степени их соответствия друг другу делается вывод о штатном или нештатном функционировании передатчика корректирующей информации. Таким образом, осуществляется непрерывный контроль штатного функционирования передатчика корректирующей информации. При резервировании передатчика корректирующей информации и контрольного приемника ОВЧ-диапазона (в случае, если их среднее время наработки на отказ менее 30-40 тысяч часов) алгоритм контроля качества корректирующей информации, поступающей в бортовые системы навигации и посадки усложняется. Дело в том, что в этом случае различие корректирующей информации, поступившей на вход передатчика и корректирующей информации на выходе контрольного приемника ОВЧ-диапазона, может быть обусловлено отказом приемника. Поэтому при наличии отличий должно произойти переключение на резервный контрольный приемник ОВЧ-диапазона. Наличие отличий и в этом случае свидетельствует об отказе передатчика корректирующей информации и о необходимости перехода на резервный передатчик корректирующей информации.

Как следует из рисунка 11. 1, в состав ККС входят клавиатура компьютера и монитор, которые используются при проведении ремонтных и профилактических работ.

Конструктивно аппаратура ККС, исключая антенны, может располагаться в двух шкафах. В одном из них, к которому подключаются антенны GNSS, располагаются блок датчиков GNSS, блок обработки данных, выдвижная клавиатура и монитор. Во втором шкафу, к которому подключаются антенны ОВЧ-диапазона, располагается аппаратура (передающая и принимающая) радиоканала передачи корректирующей информации.

Конструктивное выполнение ККС иллюстрируется рисунком 11.2.

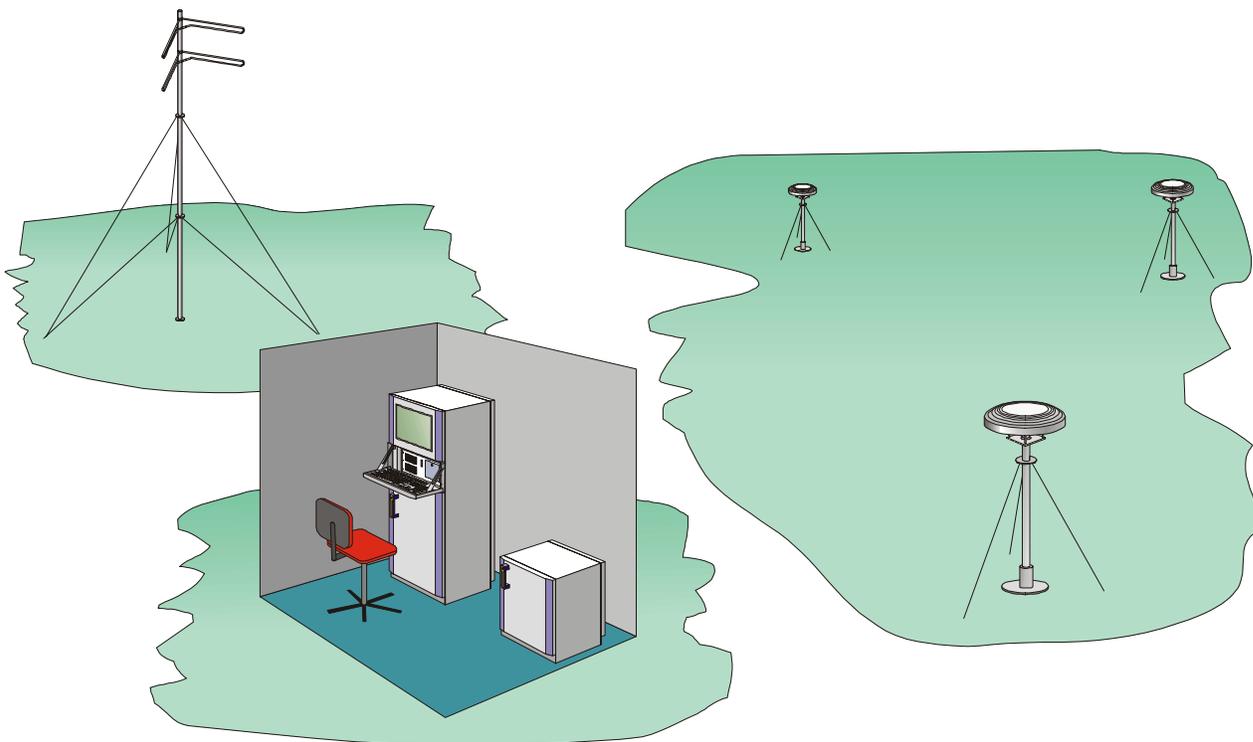


Рис.11.2-Схема расположения аппаратуры контрольно – корректирующей станции
Рассмотрим основные составляющие ККС.

11.3 Антенна GNSS

Антенно-фидерное устройство приемника сигналов GNSS (АФУ GNSS) предназначено для приема навигационных радиосигналов, излучаемых спутниковыми системами GPS и ГЛОНАСС, подавления внеполосных электромагнитных колебаний, поступающих на апертуру антенны, защиты антенного усилителя от мощных излучений, усиления радионавигационных сигналов, ослабления влияния многолучевости и канализации радионавигационных сигналов на входы блока GNSS датчиков.

АФУ GNSS может применяться в стационарной наземной спутниковой навигационной аппаратуре, работающей с системами GPS и ГЛОНАСС, GPS, ГЛОНАСС.

Сформулированные ниже технические характеристики получены на основании анализа системных требований, предъявляемых к блокам, сопрягаемым с АФУ GNSS, требований, сформулированным к антеннам GNSS документами [1, 2, 3, 5], анализе известных технических решений.

Диапазон рабочих частот, МГц 1563-1588,1592-1615.

Поляризация - круговая правосторонняя.

Параметры диаграммы направленности:

- антенна принимает сигналы из верхней полусферы;

- минимальный коэффициент усиления антенны, как функция угла θ (θ отсчитывается от нормали к плоскости апертуры антенны), выраженный в дБ, не менее (-2) при θ , лежащем в пределах $\pm 75^\circ$; не менее (-4.5) при θ , лежащем в пределах $\pm(75^\circ - 80^\circ)$; больше (-7) при θ , лежащем в пределах $\pm(80^\circ - 85^\circ)$.

Коэффициент эллиптичности при приеме сигналов по нормали к апертуре, дБ - не менее минус 3.5.

Коэффициент стоячей волны (КСВН) - меньше 2.

Коэффициент усиления усилителя антенны, дБ - не менее 30.

Коэффициент шума усилителя антенны, дБ - не более 1.5.

Волновое сопротивление тракта, Ом – 50.

Энергопотребление - ± 12 В, 30 мА.

Диапазон рабочих температур от минус 50°C до $+50^\circ\text{C}$.

Допустимая влажность 98% при температуре 55°C .

Диапазон температур при хранении от минус 55°C до $+70^\circ\text{C}$.

Среднее время наработки на отказ - 100000 часов.

Габаритные размеры 400мм x 400мм x 150мм.

Масса 7 кг.

АФУ GNSS состоит из функциональных элементов, изображенных на рис. 11. 3: пассивной антенны (1), структуры подавления многолучевости (2), полосового фильтра (3), устройства защиты активных элементов тракта (4), усилителя мощности (5), высокочастотного кабеля (6).

Работа АФУ GNSS осуществляется следующим образом. Электромагнитные колебания, излучаемые спутниками систем ГЛОНАСС и GPS, находящимися в зоне видимости, поступают в пассивную антенну. Кроме того, в антенну могут поступать эти же сигналы, отраженные от местных предметов, а также мешающие сигналы от источников электромагнитного излучения различной природы. Пассивная антенна вместе со структурой подавления отражений от местных предметов производит пространственную фильтрацию сигналов навигационных спутников. Далее сигналы навигационных спутников проходят через полосовой фильтр, который отфильтровывает внеполосные составляющие, проходят через устройство защиты активных элементов АФУ GNSS (в частности защищается усилитель мощности), усиливаются усилителем мощности и по высокочастотному кабелю поступают в блок GNSS датчиков.

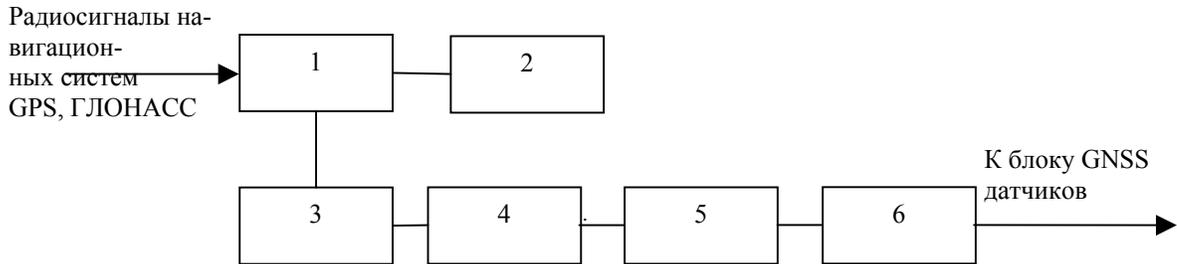


Рис. 11.3 Структурная схема антенны GNSS

Если в апертуру пассивной антенны поступают мешающие сигналы мощностью ≥ 1 Вт, то срабатывает защитное устройство и антенна автоматически переходит в режим защиты. В этом режиме на выходе полосового фильтра сигналы навигационных спутников отсутствуют.

Рассмотрим компоненты функциональной схемы антенны.

Пассивная антенна обеспечивает выполнение основных требований по пространственным характеристикам контрольно–корректирующих станций в целом.

Пассивная антенна спроектирована на микрополосковой (несимметричной полосковой) линии. Материал диэлектрической подложки – фторопласт-4. Габаритные размеры пассивной антенны 100мм x 100мм x 5мм. Антенна возбуждается коаксиальной линией, плоскость возбуждения перпендикулярна плоскости полоскового проводника.

Полосовой фильтр выполнен на четырех коаксиальных резонаторах с воздушным заполнением, имеет эллиптическую амплитудно-частотную характеристику, минимальные потери (до 0,4 дБ) в полосе пропускания, высокую крутизну скатов и большое затухание вне полосы пропускания. Конструктивно оформляется в виде отдельного функционального узла. Габаритные размеры 80мм x 80мм x 80мм.

Структура подавления многолучевости выполнена по принципу окаймления пассивной антенны концентрическими дроссельными канавками. Габаритные размеры структуры: диаметр 400мм, высота ребер дроссельных канавок близка к четверти длины волны ($\cong 50$ мм – 60 мм).

Устройство защиты активных элементов тракта выполнено по микроэлектронной технологии на двух p-i-n диодах.

Усилитель мощности, так же как и устройство защиты активных элементов тракта, выполнен по микроэлектронной технологии и допускает возможность конструктивно-технологического сопряжения с микроэлектронными устройствами. Усилитель мощности и устройство защиты ак

тивных элементов интегрируются в микросборку, и помещены в один герметизированный корпус [27]. Габаритные размеры микросборки 65мм x 65мм x 10мм.

Функциональные узлы АФУ GNSS объединены в конструкцию изображенную на рис. 11. 4. Пассивная антенна 1 соединена разъемами с полосовым фильтром 3, который в свою очередь соединен с блоком усилителя мощности и защиты активных элементов тракта 4 и устанавливается на фидерное устройство подавления многолучевости 2. Для обеспечения защиты конструкции от атмосферных воздействий сверху антенна закрывается колпаком 7 из радиопрозрачного материала (полистирола), а нижняя ее часть закрывается герметичным ударопрочным стаканом 5, на котором размещены установочные поверхности для монтажа.

В нижней части антенны размещен коаксиальный разъем для подключения его к блоку GNSS датчиков посредством коаксиального кабеля 6 .

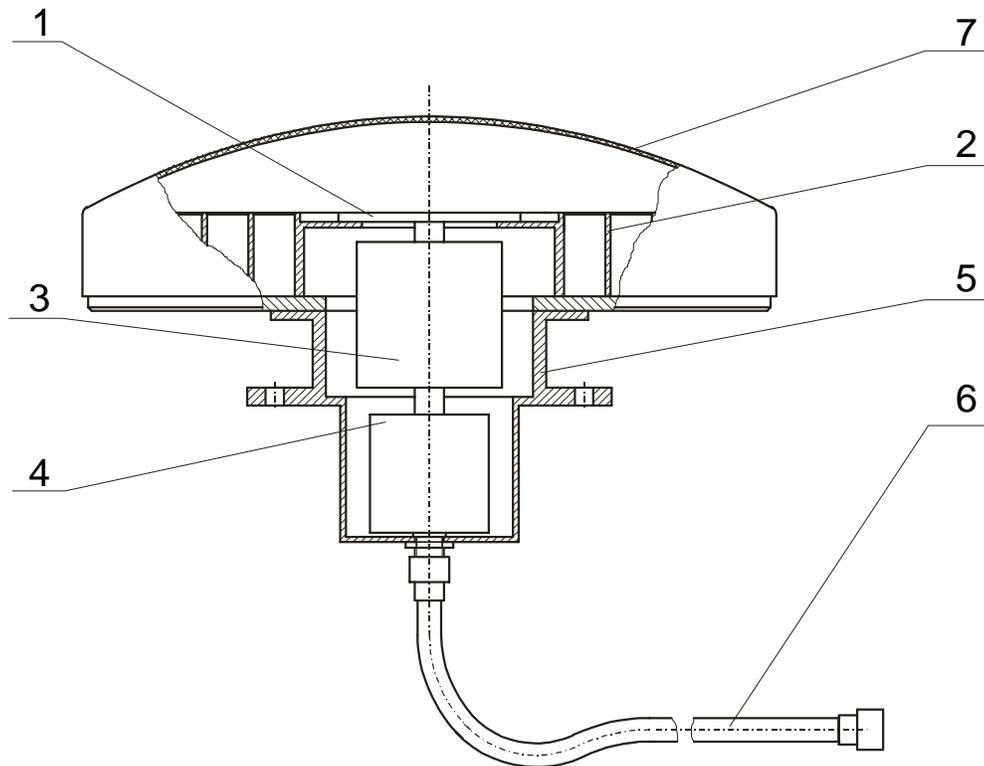


Рис.11.4. Эскиз конструкции антенно-фидерного устройства приемника сигналов GNSS

11.4 Блок датчиков GNSS

Блок датчиков GNSS, как источник навигационной информации передает в реальном времени информацию о значениях измеренных псевдодальностей к навигационным спутникам, эфемериды и альманахе навигационных спутников в блок обработки данных. Количество каналов каж

дого GNSS датчика должно соответствовать количеству навигационных спутников, находящихся в зоне видимости. На рис. 11. 5 приведены результаты прогнозирования числа спутников GPS, на рис. 11. 6 показаны аналогичные экспериментальные данные, полученные на аппаратуре ГПФ "Оризон-Навигация". Как следует из рис. 11. 5 в зоне видимости в обоих случаях находятся 9 и 10 спутников GPS соответственно. Из рис. 11. 6 видно, что, как правило, в зоне видимости находятся 9-10 спутников GPS из 24 работающих и 1- 4 спутника ГЛОНАСС из 11 работающих.

Учитывая, что полномасштабная система ГЛОНАСС также должна содержать 24 работающих спутника, можно полагать, что в зоне видимости будут находиться 9-10 спутников ГЛОНАСС.

Таким образом, для оптимального функционирования ККС количество каналов одного GNSS датчика должно быть 18-20, что, собственно, и подтверждается литературными данными.

Поскольку обязательной функцией ККС является непрерывный мониторинг корректирующей информации [3], то в блок обработки данных должна поступать навигационная информация, по крайней мере, от двух датчиков GNSS с индивидуальными приемными антеннами. В качестве датчиков GNSS могут использоваться навигационные приемники, работающие только по сигналам GPS и сигналам GPS +ГЛОНАСС, и приемники, работающие по сигналам GPS+ГЛОНАСС. Очевидно, что второй вариант является предпочтительным.

Характеристики наиболее совершенных приемников GNSS фирмы Magellan и ГПФ "Оризон-Навигация" приведены в таблице 11.1, которая составлена на основе данных, приведенных в официальной технической документации по состоянию на декабрь 2000 года.

Схема блока датчиков GNSS, выполненная с применением четырех приемников фирмы Magellan. типа GG24 приведена на рис. 11. 7.

Блок датчиков GNSS содержит четыре приемника типа GG24, отказоустойчивый (резервированный) источник питания типа ACE-R20 А, двухканальный делитель мощности и узел связи 8-канальной платы последовательного интерфейса С168Н.

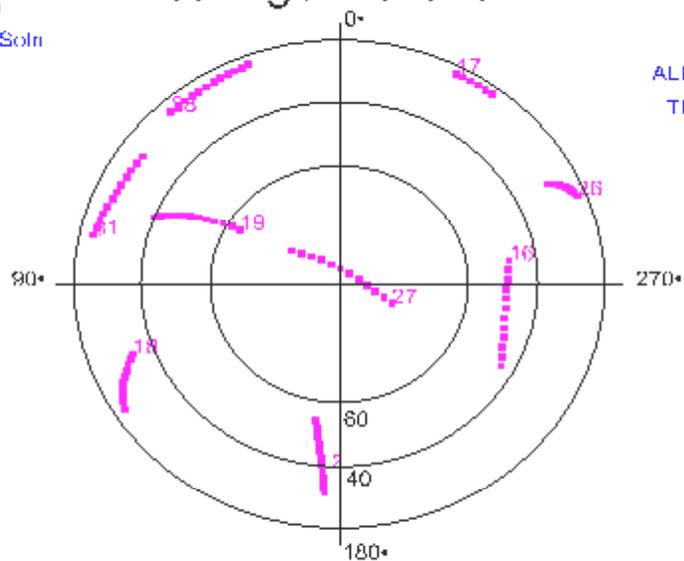
Функционирование блока датчиков GNSS заключается в следующем. Радионавигационные сигналы навигационных спутников с антенн GNSS поступают в приемники GG24. Выходные сигналы с приемников GG24, включающие в себя в цифровой форме информацию о значениях измеренных псевдодальностей к навигационным спутникам, время измерения, а также эфемеридную информацию, поступают в блок обработки данных (в 8-канальную плату последовательного интерфейса RS-232) через узел связи 8-канальной платы последовательного интерфейса С168Н по запросам, поступающим в приемники GG24 через узел связи из блока обработки данных.

Time:10:53

- Used in Nav Soln
- Not Used in Nav Soln

Green = Healthy
Yellow = Marginal
Red = Unhealthy

Bearing / Elevation



11/03/00

LAT: 50 30' 24.72 N
LON: 30 12' 53.58 E
ALMANAC: FOC24.AL3
TRUE HEADING: 5°

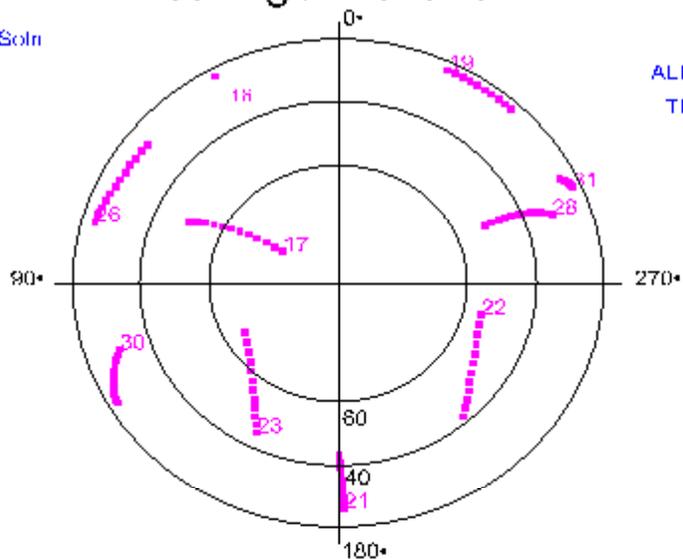
a)

Time:23:53

- Used in Nav Soln
- Not Used in Nav Soln

Green = Healthy
Yellow = Marginal
Red = Unhealthy

Bearing / Elevation



10:17/00

LAT: 50 30' 24.72 N
LON: 30 12' 53.58 E
ALMANAC: FOC24.AL3
TRUE HEADING: 5°

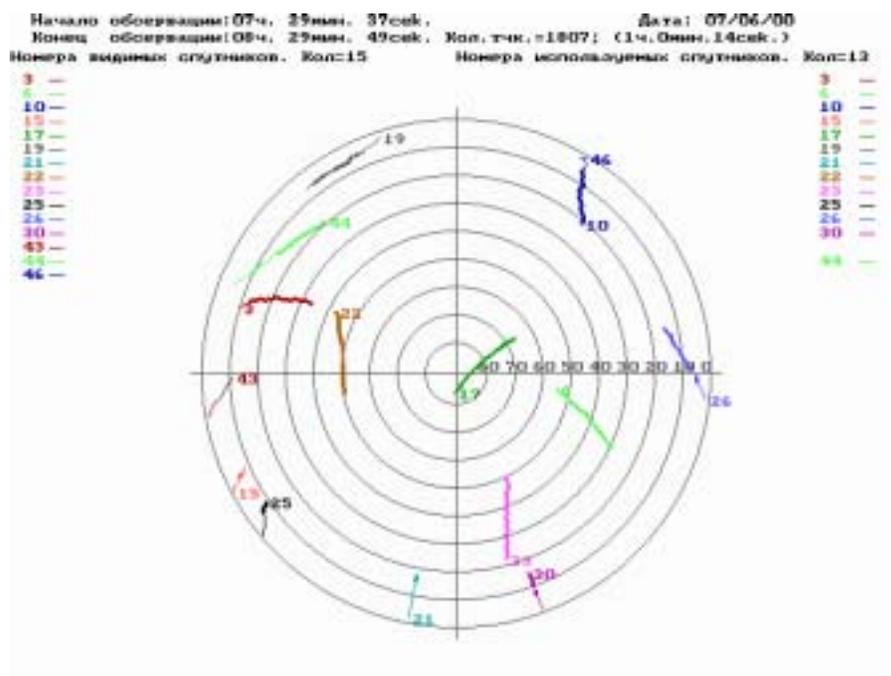
б)

Рис. 11.5. Результаты моделирования прогнозирования местоположения спутников GPS



Спутники GPS: 3,6,8,15,17,19,21,22,23,26,27,29 (8 - активных)
 Спутники ГЛОНАСС: 34,40,41,42,48,49 (4 - активных)

a)



Спутники GPS: 3,6,10,15,17,19,21,22,23,25,26,30 (12 - активных)
 Спутники ГЛОНАСС: 43,44,46 (один - активен)

б)

Таблица 11.1. Характеристики приемников GNSS

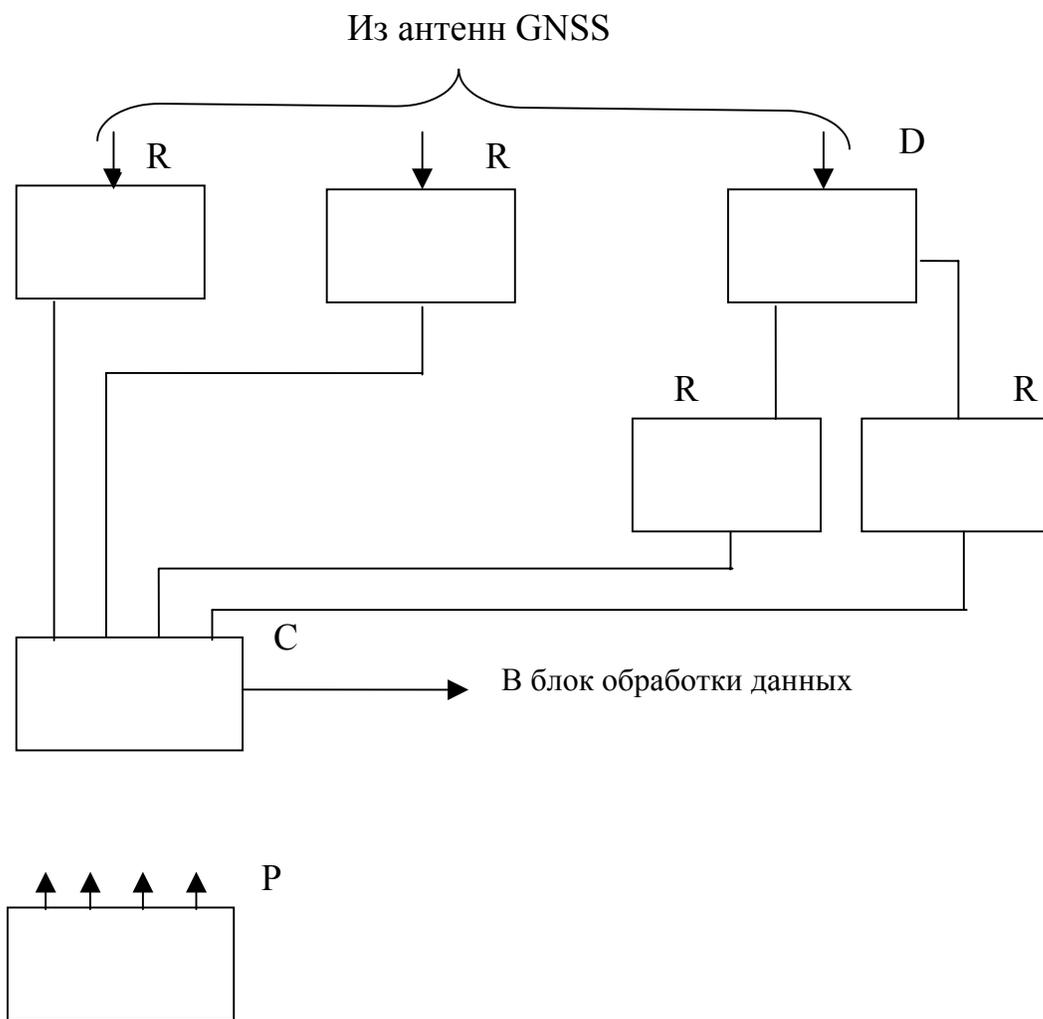
Наименование характеристики	Приемник GG24 Board	Навигационная аппаратура потребителей СН-3022	Навигационная аппаратура потребителей СН-3700	Аппаратура потребителей спутниковых навигационных систем СН-3704
Изготовитель (фирма, страна)	Magellan(США)	ГПФ "Оризон-Навигация" (Украина)	ГПФ "Оризон-Навигация" (Украина)	ГПФ "Оризон-Навигация" (Украина)
Количество каналов	12 каналов GPS, 12 каналов L1 ГЛОНАСС : кодовая дальность и фаза несущей	14 кодовая дальность	14 кодовая дальность	14 кодовая дальность
Погрешность определения плановых координат в автономном режиме: только GPS только ГЛОНАСС GPS + ГЛОНАСС	100м (2 СКО) 20м (2 СКО) 16 м (2 СКО)	40 м (СКО) 30 м (СКО) 20 м (СКО)	40 м (СКО) 30 м (СКО) 20 м (СКО)	40 м (СКО) 30 м (СКО) 20 м (СКО)
Погрешность определения высоты в автономном режиме: только GPS только ГЛОНАСС GPS + ГЛОНАСС	200м (2 СКО) 40м (2 СКО) 32 м (2 СКО)	70 м (СКО) 50 м (СКО) 30 м (СКО)	30-70 м (СКО) 30-70м (СКО) 30-70 м (СКО)	30-70 м (СКО) 30-70м (СКО) 30-70 м (СКО)
Погрешность определения плановых координат в дифференциальном режиме	0.75 м (2 СКО) при малой базе и углах маски более 10°	1-5 м (СКО)	1-5 м (СКО)	1-5 м (СКО)
Погрешность определения высоты в дифференциальном режиме	1.5 м (2 СКО) при малой базе и углах маски более 10°	2-7 м (СКО)	3-7 м (СКО)	3-7 м (СКО)
Выходные данные	Координаты местоположения, сообщение типа 1, 2, 3, 6, 9, 16, 22, 31, 32, 34 стандарта RTCM, версия.2.2 "сырая" информация в сообщениях стандарта NMEA	Координаты местоположения	Координаты местоположения	Сообщения типа 1, 3, 31, 32, 37 стандарта RTCM версия.2.2 "сырая" информация в сообщениях стандарта NMEA 0183 и в бинарном коде

Наименование характеристики	Приемник GG24 Board	Навигационная аппаратура потребителей СН-3022	Навигационная аппаратура потребителей СН-3700	Аппаратура потребителей спутниковых навигационных систем СН-3704
	0183 версия 2.1 и в бинарном коде			
Состав "сырой" информации	Эфемериды, альманахов, измеренные псевдодальности к навигационным спутникам			Эфемериды, альманахов, измеренные псевдодальности к навигационным спутникам
Темп обновления "сырой" информации	1 раз/с, 2 раза/с, 5 раз/с			1 раз/с
Темп выдачи координат местоположения	1 раз/с, 2 раза/с, 5 раз/с			1 раз за 2 секунды
Количество и тип интерфейсов	Два RS-232 порта, обеспечивающие скорость передачи данных 115,2 кбит /с	Два RS-232 порта, обеспечивающие скорость передачи данных до 19.2 Кбит /с	Два RS-232 порта, обеспечивающие скорость передачи данных до 19.2кбит /с	Два RS-232 порта, обеспечивающие скорость передачи данных 38,4 Кбит /с по протоколу BINR и 19,2 Кбит/с по протоколу NMEA
Наличие самотестирования	Имеется самотестирование. Результаты хранятся в памяти и вызываются по команде			
Возможность самоопределения координат антенны GNSS	Имеется. Погрешность 3 м при измерениях в течение 12 часов.			
Возможность подавления многолучевого приема	Имеется. Подавляется многолучевой прием от возвышенностей на расстояниях свыше 37 м.			
Среднее время наработки на отказ	60000 часов	10000 часов	10000 часов	10000 часов
Рабочий диапазон температур	От минус 30°C до плюс 55°C	От минус 20°C до плюс 50°C	От минус 40°C до плюс 55°C	От минус 40°C до плюс 55°C
Предельные температуры		От минус 30°C до плюс 55°C	От минус 60°C до плюс 70°C	
Относительная влажность	Согласно MIL-STD-870E			

Наименование характеристики	Приемник GG24 Board	Навигационная аппаратура потребителей СН-3022	Навигационная аппаратура потребителей СН-3700	Аппаратура потребителей спутниковых навигационных систем СН-3704
Диапазон температур хранения	От минус 40°С до плюс 85°С	От плюс 5°С до плюс 40°С	От плюс 5°С до плюс 40°С	От минус 40°С до плюс 55°С
Напряжение питания	5 В) ±5%	Постоянное 10-30В	9-30В	5В
Энергопотребление	3 Вт	7 Вт	7Вт	3Вт
Размеры, мм	100 x 167	65 x 175 x195	182 x 140 x 587	110 x 115

Конструктивно блок датчиков GNSS выполняется для установки в стандартную 19-дюймовую стойку, которая является основным конструктивом ККС.

Выходной разъем GG24 конфигурирован на два порта с интерфейсом RS-232. Для передачи информации с блока датчиков GNSS в блок обработки данных требуется восемь кабелей. Длина этих кабелей для обеспечения требуемой скорости передачи данных не должна превышать 30 см, что обуславливает значительные трудности при изготовлении и эксплуатации. Поэтому включить в состав блока датчиков включен узел связи 8-канальной платы последовательного интерфейса С168Н, входящей в состав блока обработки данных. В этом случае выходные разъемы приемников GG24 посредством коротких (длиной 30 см) кабелей подключаются к узлу связи, а последний подключается к блоку обработки данных посредством одного кабеля длиной 1,5 м, что упрощает изготовление, эксплуатацию и ремонт, а также требуемую скорость передачи данных.



Поз. обозн.	Наименование	Кол
R	Приемник GG24 board	4
D	Двухканальный делитель мощности	1
C	Узел связи 8-канальной платы последовательного интерфейса C168H	1
P	Резервируемый источник питания ACE-R20A	1

Рис. 11.7. Схема блока датчиков GNSS

11.5 Блок обработки данных

Блок обработки данных выполняет целый ряд функций:

обработку "сырых" данных и выработку корректирующей информации;

формирование сообщений требуемого типа и направление их в передатчик корректирующей информации;

контроль штатного функционирования датчиков GNSS, передатчика корректирующей информации и контрольного приемника;

контроль целостности спутниковых созвездий и выработку информации о надежности, эксплуатационной готовности, доступности, точности GNSS;

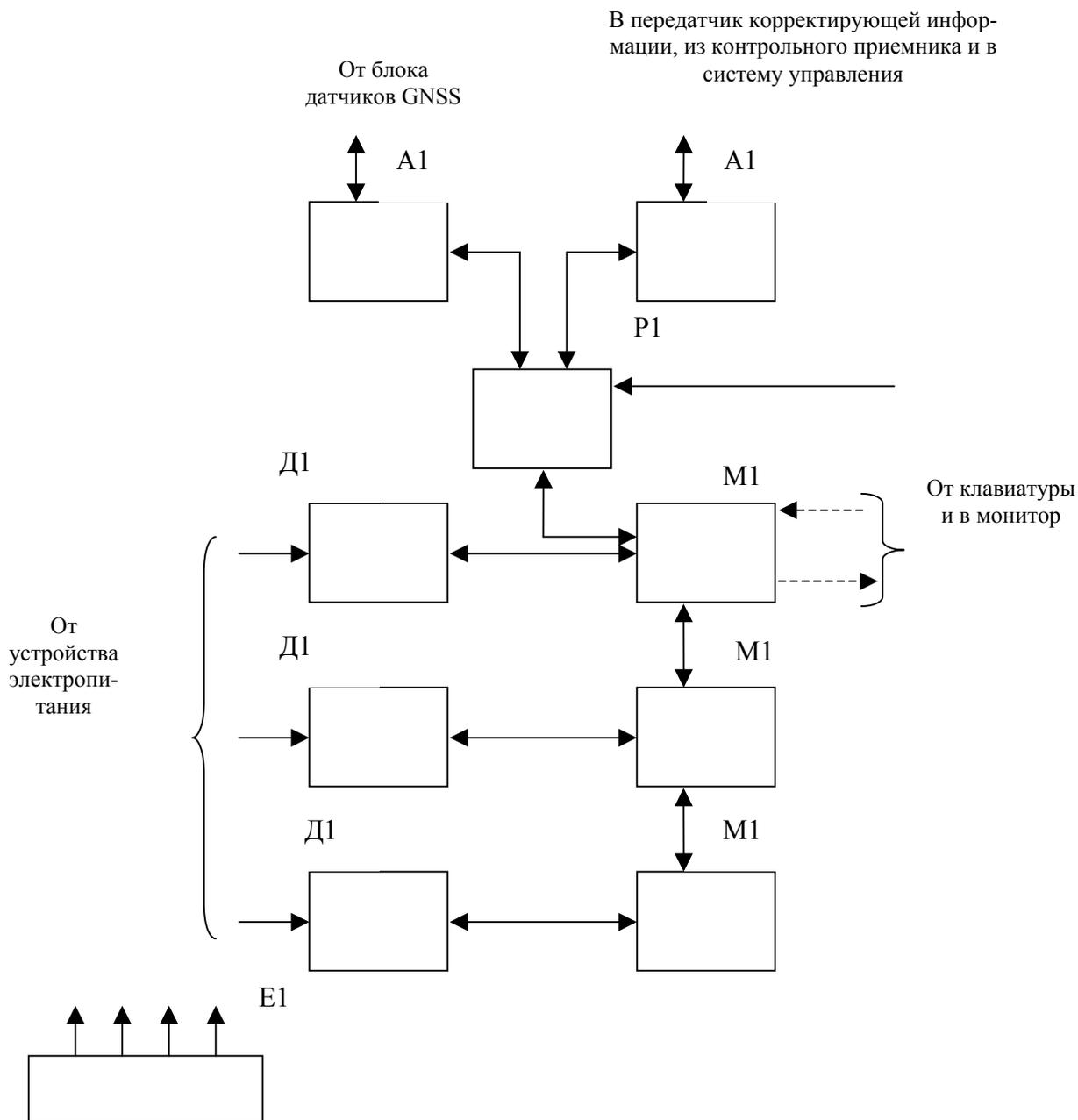
прием сигналов управления с системы управления и выдачу диагностической информации в систему управления о функционировании ККС;

архивирование и сохранение в течение не менее 14 дней транслируемую воздушным судам корректирующую информацию.

С учетом выполнения перечисленных функций структурная схема блока обработки приведена на рис. 11.8. Следует отметить, что помимо аппаратной части неотъемлемой частью блока обработки данных является математическое и программное обеспечение. Математическое обеспечение представляет собой, прежде всего, операционную систему, дополнительные резидентные программы и драйверы для управления последовательными портами и адаптерами, а также транслятор с языка программирования высокого уровня, на котором разработана прикладная программа, обеспечивающая штатное функционирование блока обработки данных. Особенно важен оптимальный выбор операционной среды, который к тому же влияет на аппаратный состав блока обработки данных.

Тип операционной системы определяется объемом и составом прикладного программного обеспечения, но также необходимо учитывать то обстоятельство, что блок обработки данных должен функционировать в режиме реального времени и при этом с периодом выдачи корректирующей информации не более 1 секунды. Для того чтобы обеспечить выполнение блоком обработки данных предписанных ему функций прикладное программное обеспечение включает в свой состав следующие компоненты:

системную программу, обеспечивающую функционирование блока обработки данных, а



	Наименование	Количество	Примечание
A1	8-канальные платы последовательного интерфейса RS-232/422 типа C-168H	2	фирма MOXA Technologies
P1	Пассивная объединительная плата (кросс-плата)	1	
M1	Слотовый процессорный модуль	3	
D1	IDE жесткий диск	3	
E1	Отказоустойчивый резервированный источник питания	1	

Рис. 11.8. Структурная схема блока обработки данных

также управление ресурсами процессорного модуля и взаимодействие с периферийными устройствами, т.е. с блоком датчиков GNSS, системой управления, передатчиком корректирующей информации и контрольным приемником;

прикладную программу, включающую в свой состав следующие программные модули: модуль регистрации в оперативной памяти или на виртуальном диске информации, поступающей с датчиков GNSS (скорость обновления не менее 1 раза в секунду) и с контрольного приемника; модуль управления контрольно-корректирующей станцией в дистанционном и автономном режимах; модуль выработки диагностической информации для передачи на систему управления; модуль, обеспечивающий контроль целостности, модуль выработки дифференциальных поправок к псевдодальностям, дифференциальных поправок скорости изменения псевдодальностей, оценку погрешностей дифференциальных поправок и другую корректирующую информацию; модуль форматирования корректирующей информации в виде сообщений избранного стандарта.

Целый ряд программных модулей задействуются параллельно, а, следовательно, операционная система должна обеспечивать многозадачный режим.

Алгоритм функционирования блока обработки данных заключается в следующем. "Сырая" информация, т.е. измеренные псевдодальности к наблюдаемым навигационным спутникам, время измерения, эфемериды навигационных спутников и альманах из четырех приемников GNSS, расположенных в блоке датчиков GNSS, через одну из восьмиканальных плат последовательного интерфейса A1 поступают в оперативную память каждого из процессорных модулей M1. Через вторую восьмиканальную плату последовательного интерфейса RS -232/432 осуществляется асинхронный последовательный обмен данными с передатчиком корректирующей информации (основным и резервным), контрольным приемником (основным и резервным) и системой управления. Данные датчиков GNSS с контрольного приемника и системы управления записываются в оперативной памяти процессорных модулей. Каждый из процессорных модулей M1 имеет одинаковое математическое и прикладное программное обеспечение, которое включает в себя программный модуль самотестирования и выбора процессорного модуля в качестве центрального процессора блока обработки в случае отказа первоначального хост - процессорного модуля. Математическое обеспечение (операционная система, драйверы, резидентные подпрограммы, трансляторы языков высокого уровня), а также прикладное программное обеспечение хранится в каждом из жестких дисков Д1 и загружается в оперативную память процессорных модулей M1 при наличии команды о включении ККС. Принцип самотестирования процессорных модулей M1 состоит в сравнении результатов обработки данных, поступающих из GNSS датчиков. Поскольку в блоке обработки

данных находится три процессорных модуля, то имеется возможность при заданном допуске на расхождение данных при сравнении результатов обработки, а также сформатированных сообщений определить отказавший процессорный модуль или сообщение, содержащее ошибку, обусловленную сбоями при выполнении вычислений. Программный модуль вычисления дифференциальных поправок и другой корректирующей информации, а также модуль контроля целостности обеспечивают исходные данные для формирования и передачи через последовательный порт в передатчик корректирующей информации сообщений по выбранному стандарту. Формирование и передача сообщений осуществляются под управлением программного модуля форматирования и передачи корректирующей информации. Параллельно, с помощью программного модуля контроля штатного функционирования блока датчиков GNSS, передатчика корректирующей информации, контрольного приемника и программного модуля выработки диагностической информации осуществляется контроль штатного функционирования датчиков GNSS путем сравнения данных, поступающих с датчиков GNSS, и контроль штатного функционирования передатчика корректирующей информации и контрольного приемника путем сравнения сообщений, одно из которых представляет собой сообщение, направленное в передатчик корректирующей информации, а второе – это сообщение, направленное в блок обработки данных из контрольного приемника. Критерий отказа состоит в выходе за пределы установленного допуска сравниваемых данных. На основе результатов сравнения, а также с учетом результатов реализации программного модуля самотестирования процессорных модулей, формируется диагностическая информация о функционировании ККС, направляемая в систему управления. Программный модуль управления ККС обеспечивает управление станцией как в дистанционном режиме по сигналам управления с системы управления, так и в автономном режиме по командам оператора, поступающим в блок управления с подключаемой в этом случае к блоку обработки данных стандартной клавиатуры. Диагностическая информация в последнем случае отображается на экране монитора, подключаемого к блоку обработки данных.

Конструктивно весь аппаратный состав блока обработки данных, включая пассивную кросс-плату располагается в корпусе, предназначенном для монтажа в 19-дюймовую стойку, в отдельных отсеках устанавливаются три жестких диска, пассивная кросс-плата, в слоты которой устанавливаются слотовые процессорные модули, две восьмиканальные платы последовательного интерфейса RS-232/422.

Технические и эксплуатационные параметры элементов блока обработки данных можно найти в [29 - 35].

Фактически блок обработки данных представляет собой информационно – управляющую систему реального времени, так как вырабатывает корректирующую информацию для бортовых систем посадки на основе обработки информации с GNSS датчиков. Ведущими тенденциями развития информационно – управляющих систем являются следующие: усиление лидирующей роли PC – архитектуры и экспансия Windows-совместимых программ в область приложений реального времени. Нетрудно заметить, что блок обработки данных соответствует этим тенденциям.

11.6 Передатчик корректирующей информации

Трансляция корректирующей информации в бортовые навигационные системы захода на посадку возможна только посредством радиосвязи. Составной частью ККС, обеспечивающей категорированные заходы на посадку, является передатчик корректирующей информации. При этом, поскольку корректирующая информация представляет собой цифровую информацию, это должен быть передатчик, обеспечивающий передачу данных.

Передатчик корректирующей информации в соответствии с требованиями ИКАО должен включать в свой состав синтезатор частоты ОВЧ-диапазона, дифференциальный кодер, модулятор, осуществляющий восьмиуровневую дифференциальную фазовую манипуляцию, усилитель мощности, электроуправляемый быстродействующий аттенюатор, устройства встроенного контроля, а также тактовый генератор, устройства асинхронной передачи данных, скремблер, кодер, осуществляющий помехоустойчивое кодирование, модули памяти и микропроцессор с соответствующим программным обеспечением, осуществляющий управление работой входящих в передатчик устройств. Естественно, что для обеспечения требуемых показателей надежности, входящие в передатчик устройства должны быть реализованы в виде сверхбольших интегральных схем. Таким устройством является передатчик EM-9009 VDB фирмы Telerad, характеристики которого представлены ниже.

Режим работы	В соответствии с требованиями Стандартов и Рекомендованной практики ИКАО для GBAS
Диапазон назначенных частот	108,025 – 117,950 МГц
Шаг сетки частот	25 КГц
Стабильность частоты	$1 \cdot 10^{-6}$ в диапазоне температур от 0 до 50°C
Модуляция	Дифференциальная восьмиуровневая манипуляция с приподнятым косинусным фильтром ($\alpha=0,6$)
Скорость передачи	10500 символов/с
Выходная мощность	От 10 до 80 Вт на 50-омную нагрузку
КСВН нагрузки	≤ 2 без уменьшения выходной мощности
Уровень излучения в не назначенном слоте	< минус 100 дБ к уровню сигнала в полосе

Режим работы	В соответствии с требованиями Стандартов и Рекомендованной практики ИКАО для GBAS
	частот 25 КГц
Спектральная частота: уровень гармоник уровень внеполосного излучения	< минус 36 дБмВт < минус 54 дБмВт
Уровень излучения в смежных каналах (в полосе частот 25 КГц): 1 канал 2 канал 4 канал	≤ минус 50 дБ к уровню сигнала ≤ минус 65 дБ к уровню сигнала < 72,5 дБ к уровню сигнала
Напряжение электропитания	85-264 В переменного тока с частотой в пре- делах 47-65 Гц
Потребляемая мощность	1000 Вт при выходной мощности 70 Вт
Рабочий диапазон температур	От минус 20 до плюс 55°С
Относительная влажность	95% при 40°С без конденсации влаги
Диапазон температур хранения	От минус 40 до плюс 80°С
Габариты: высота глубина ширина (по передней панели)	3U + 3U 430 мм 483 мм
Среднее время наработки на отказ	370400 часов при однократном резервирова- нии и времени восстановления 90 дней

11.7 Контрольный приемник

Обязательной функцией ККС является контроль качества транслируемой корректирующей информации. Стандартный путь реализации этой функции состоит в том, что в состав ККС включается дополнительный приемник GNSS (обычно резервируемый) со своей антенной GNSS. Задача этого приемника GNSS определять местоположение своей антенны GNSS с учетом корректирующей информации, поступающей с контрольного приемника, принимающего и демодулирующего радиосигналы, транслируемые передатчиком корректирующей информации. В результате сопоставления вычисленных и заранее известных координат антенны дополнительного приемника GNSS принимается решение о качестве корректирующей информации.

Параллельно с проверкой качества корректирующей информации осуществляется контроль функционирования передатчика корректирующей информации, так как несовпадение вычисленных и заранее известных координат антенны дополнительного GNSS приемника свидетельствуют или о недопустимых значениях погрешности корректирующей информации, или о нештатном функционировании передатчика корректирующей информации или контрольного приемника. Неоднозначность разрешается при наличии резервных передатчика корректирующей информации и

контрольного приемника, поскольку одновременный отказ высоконадежных передатчиков корректирующей информации и контрольных приемников крайне маловероятен.

В отличие от традиционной структуры в описываемой ККС информация с приемников GNSS поступает в блок обработки данных, который на ее основе вычисляет корректирующую информацию и параллельно определяет качество корректирующей информации. Однако необходимость в контрольном приемнике сохраняется для контроля штатного функционирования передатчика корректирующей информации.

Радиотехнические параметры контрольного приемника должны соответствовать характеристикам передатчика корректирующей информации, а именно: диапазону рабочих частот, шагу сетки частот, типу модуляции, режиму работы, виду помехоустойчивого кодирования. Такие характеристики имеет приемник RE-9009 VDB фирмы Telerad, параметры которого представлены ниже.

Режим работы	В соответствии с требованиями Стандартов и Рекомендованной практики ИКАО для GBAS в части контроля транслируемых данных
Диапазон назначенных частот	108,025 – 117,950 МГц
Шаг сетки частот	25 кГц
Стабильность частоты	$1 \cdot 10^{-6}$ в диапазоне температур от 0 до 50°C
Модуляция	Дифференциальная восьмиуровневая манипуляция, 10500 символов/с
Чувствительность	минус 87 дБмВт
Избирательность	Минус 6 дБ при отстройке 10 кГц, минус 80 дБ при отстройке 30 кГц
Динамический диапазон	100 дБ
Подавление в смежном канале	Более 50 дБ
Напряжение электропитания	85-264 В переменного тока с частотой в пределах 47-65 Гц
Потребляемая мощность	85 Вт
Рабочий диапазон температур	От минус 20 до плюс 50°C
Относительная влажность	95% при 40°C без конденсации влаги
Диапазон температур хранения	От минус 40 до плюс 80°C
Габариты: высота глубина ширина (по передней панели)	1U + 1U 430 мм 483 мм
Масса	4 кг
Среднее время наработки на отказ	370400 часов при однократном резервировании и времени восстановления 90 дней

