

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Политехнический институт

Факультет вычислительной техники

Кафедра «МО и ПЭВМ»

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПОДГОТОВЛЕННОЙ
НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ на тему:**

«Модели и алгоритмы системы
топографической привязки и навигации подвижных объектов
специального назначения»

Направление подготовки: 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

Направленность (профиль) Системный анализ, управление и обработка информации

Выполнил аспирант Пальгин Н.И. _____
(подпись, дата)

Электронная версия НД проверена и передана в ЭБС _____
(дата)

Научный руководитель
д.т.н., профессор Макарычев П.П. _____
(подпись, дата)

Пенза 2025

Содержание

Введение.....	3
Анализ применения систем топогеодезической привязки и ориентирования в изделиях разработки АО «НПП «Рубин».....	4
Применение НК собственной разработки.....	6
Применение вспомогательных устройств для организации навигационного обеспечения.....	8
Преобразователь скоростей датчика пути.....	9
Преобразователь электромеханический.....	10
Блок преобразования навигационных данных.....	11
Повышение точности определения навигационных параметров за счет комплексной обработки сигналов от различных спутниковых навигационных систем.....	12
Повышение точности определения координат СТН «Меридиан-М» за счет работы применения алгоритма работы спутниковой навигации в дифференциальном режиме.....	15
Применение компактных схемотехнических устройств, расширяющих функционально-технические возможности БВК изделий ПВО ТЗ в части организации навигационного обеспечения.....	16
Преобразователь интерфейсов.....	16
Преобразователь метки времени.....	20
Выводы.....	23
Заключение.....	24
Список используемых источников.....	25

Введение

Важную роль в обеспечении точности разведывательно-информационного обеспечения взаимодействующих элементов подсистемы ПВО тактического звена (ТЗ) играют навигационные комплексы (НК) ориентирования и топопривязки, размещенные на изделиях специального назначения. В настоящее время доступен широкий выбор НК, позволяющий применять их на различных объектах как военной, так и гражданской техники, исходя из конкретной специфики выполняемых требований, заданных ТЗ.

Применение подвижных изделий на колесных и гусеничных шасси в различных странах мира требует скрупулезного подхода при разработке комплексов определения пространственного местоположения объекта и выборе их комплектующих. Поэтому разработка новых вариантов НК, а также совершенствование их моделей и алгоритмов является актуальной задачей.

Анализ применения систем топогеодезической привязки и ориентирования в изделиях разработки АО «НПП «Рубин»

Изначально изделия, разрабатываемые АО «НПП «Рубин», оснащались НК 1НА1-Р производства АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, в котором навигационная и служебная информация, необходимая оператору при решении текущих задач по управлению, обслуживанию или контролю, отображалась на индикаторном поле координатора в виде меню, представленного списками задач, данных и отказов. Реализация выдачи информации в данном формате и отсутствие в изделии дополнительного устройства индикации не позволяла осуществлять работу НК с электронными картами (ЭК) местности. Отсутствие картографического меню для подвижных изделий, в составе которых применялась 1НА1-Р, являлось существенным недостатком. Работа с картой в индикаторном режиме рассматривалась наиболее важным моментом совершения марша, так как позволяет контролировать действительное местоположение объекта и осуществлять оценку точности работы навигационной аппаратуры.

С 2010 года АО «НПП «Рубин» приступил к комплектованию своих изделий системами топопривязки навигации и ориентирования (СТНО) производства АО «КЭМЗ» г. Ковров. Точностные характеристики параметров ориентации, выдаваемые СТНО, на порядок выше, чем аналогичные показатели 1НА1-Р. Кроме того, в составе комплекса в качестве устройства управления и индикации применялся картограф, производящий управление и индикацию навигационной информации, а также осуществляющий различные операции с цифровыми картами местности, используемыми для отображения текущего местоположения объекта, целей, пунктов назначения, контрольных точек и тактической обстановки в реальном масштабе времени. Также внутри картографа размещался приемник спутниковой навигационной системы (СНС), принимающий сигналы космических навигационных аппаратов (КНА) ГЛОНАСС и GPS и проводящий обработку поступающей информации. Основным недостатком

СТНО являются частые отказы в эксплуатации лазерного гироскопического измерителя (ЛГИ). В конечном счете, из-за проблем с производством и ремонтом чувствительных элементов, входящих в состав ЛГИ, поставки СТНО были приостановлены.

С 2016 года АО «НПП «Рубин» применяет в изделиях из состава комплекса средств автоматизации (КСА) ПВО «Барнаул-Т» маршрутно-навигационных систем топопривязки и ориентирования «Азимут-10В» производства ПАО «ПНППК». МНСТО позволяет обеспечить автоматическую выработку, выдачу и индикацию внешним потребителям навигационных параметров ориентации объекта, определяемых с помощью работы в конкретном режиме или комплексирования навигационных данных инерциальной навигационной системы, СНС и одометрического датчика пути, а также отображение местоположения объекта на топографической карте местности. К достоинствам системы можно отнести высокую надежность – мало количество аппаратных отказов в эксплуатации. Также ПАО «ПНППК» постоянно повышает качество выпускаемой продукции, проводя различные испытания в части конструктивных и программных доработок МНСТО, прислушивается к отзывам потребителей в части улучшения систем и реализации необходимых опций.

Еще одним покупным навигационным комплексом является аппаратура навигации и топопривязки (АНТО) производства АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, применяемая АО «НПП «Рубин» в изделии МРУК, базирующемся на бронеавтомобиле повышенной проходимости «Тигр» отечественного производства. Особенностью АНТО является применение в составе НК панельного компьютера (ПК), реализованного на основе одноплатной электронно-вычислительной машины (ЭВМ) и устройства отображения информации на базе жидкокристаллического индикатора [1].

Применение НК собственной разработки

Большинство оборонных предприятий РФ, основная деятельность которых связана с выполнением государственного оборонного заказа, вынуждены осуществлять закупку НК у ведущих фирм-поставщиков, специализирующихся на разработке навигационных приборов и систем. Покупные комплексы навигации зачастую содержат ограниченный набор режимов и опций. Накопленный АО «НПП «Рубин» опыт в разработке новейших образцов военной техники и модернизации имеющихся изделий позволил решить задачу построения НК из готовых измерителей и датчиков информации и создать альтернативу покупным навигационным системам.

Система топопривязки и навигации (СТН) «Меридиан» представляет собой программно-аппаратную систему, состоящую из функционального программного обеспечения (ФПО), устанавливаемого на бортовой вычислительный комплекс (БВК), и набора необходимых навигационных измерителей. Это позволяет использовать СТН на различных шасси, изменяя лишь протокол взаимодействия комплекса с потребителями навигационной информации. Состав СТН «Меридиан» приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Первоначальный состав СТН «Меридиан»:

1 – ноутбук «Урал 12», 2 – блок «МТКУ», 3 – датчик пути, 4 – блок «ПС-3ДП»,
5 – АСН 14Ц821СЖ.

Первые испытания СТН проводились на опытном образце машины разведки и управления командира (МРУК) зенитного взвода (изделие 9С937) [2]. Результаты испытаний, приведенные в таблицах 1–4. Из таблиц следует

адекватность использования данной аппаратуры и алгоритмов обработки навигационной информации в составе комплекса.

Таблица 1. СКО погрешностей начального ориентирования

Показатель	Результат измерения		Допуск (σ)	
	Градусы	Д. у.	Градусы	Д. у.
Дирекционный угол/курс	0,1067	1,7783	0,5565	9,2750
Крен	0,0094	0,1567	0,1000	1,6667
Тангаж	0,0047	0,0783	0,1000	1,6667

Таблица 2. СКО погрешностей удержания в течение 1 часа

Показатель	Результат измерения		Допуск (σ)	
	Градусы	Д. у.	Градусы	Д.у.
Дирекционный угол/курс	0,1500	2,5000	0,3333	5,5555
Крен	0,0083	0,2167	0,1000	1,6667
Тангаж	0,0071	0,1183	0,1000	1,6667

Таблица 3. Проверка точности спутниковой навигации

Показатель	Эталонные данные, м	Показания АСН, м	Ошибка измерения, м	Допуск (3σ), м
X	5903467,3	5903464,4	2,9	12
Y	8518349,3	8518352,4	3,1	12
H	175,2	180,8	5,6	15

Таблица 4. Результаты контрольных маршей

Показатель	Контрольный заезд 1, ошибка измерения, м	Контрольный заезд 2, ошибка измерения, м	Допуск (3σ), м
X	2,27	3,30	6
Y	5,04	4,75	6
H	4,20	3,89	10

Применение вспомогательных устройств для организации навигационного обеспечения

Классическая структура представления навигационного комплекса приведена на рисунке 2.

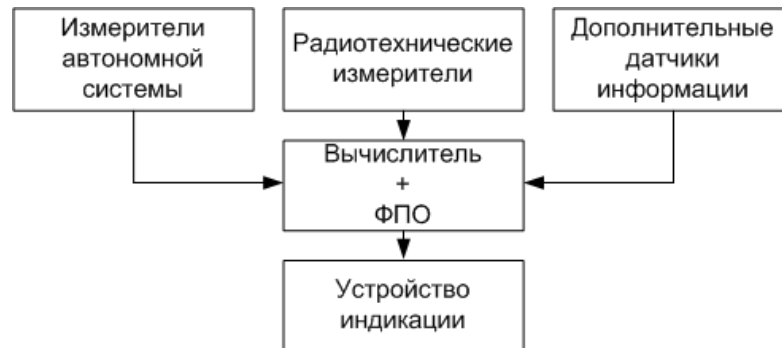


Рисунок 2. Структура построения навигационного комплекса
подвижного наземного объекта

К измерителям автономной системы относятся в основном инерциальные навигационные системы, приоритетное назначение которых заключается в определении пространственных параметров изделия-носителя. В качестве радиотехнических измерителей выступает, как правило, аппаратура спутниковой навигации, позволяющая определить местоположение объекта по сигналам космических навигационных систем ГЛОНАСС и GPS с высокой точностью. В качестве дополнительных датчиков информации зачастую используются датчики спидометра, доплеровские измерители скорости и т.д. Вычислитель с установленным ФПО осуществляет обработку информации, поступающей от навигационных измерителей, по заданным алгоритмам, после чего итоговая информация выдается оператору через устройство индикации.

Зачастую возникают ситуации, когда НК нуждаются в применении дополнительных вспомогательных устройств, обеспечивающих специализированный подход к решению возникающих вопросов при разработке и эксплуатации изделий специального назначения.

Преобразователь скоростей датчика пути

В зависимости от специфики решаемых задач подвижные объекты наземной техники базируются на различных шасси, каждое из которых подразумевает свой подход к размещению и подключению применяемого в составе объекта навигационного комплекса. В изделиях, размещенных на шасси МТ-ЛБу, отсутствует штатный датчик пути, поэтому при установке НК на данные изделия возникает необходимость установки одометрического датчика, обеспечивающего выдачу значений приращений пройденного пути с учетом направления движения в НК. В изделиях 9С931 и 9С932-1 из состава КСА «Барнаул-Т» в качестве одометрического измерителя применяется датчик ЛИР, входящий в состав НК МНСТО «Азимут-10В». В отличие от МТ-ЛБу, конструкция шасси БМП-3 подразумевает использование штатного одометрического датчика МЭ-302, функционирующего в связке со спидометром, без возможности установки дополнительного датчика пути.

При решении задачи перевода изделий 9С931 и 9С932-1 на шасси, выполненные на узлах и агрегатах БМП-3, становится актуальным поиск технического решения, позволяющего осуществить преобразование аналогового сигнала датчика МЭ-302В в цифровой сигнал, корректно воспринимаемый МНСТО, поскольку параметры выдаваемого МЭ-302 сигнала отличаются от выходного сигнала ЛИР и в применяемом НК возможность обработки сигнала с датчика МЭ-302 не реализована.

В ходе решения поставленной задачи был разработан преобразователь скоростей датчика пути (ПС-3ДП), позволяющий помимо взаимодействия с датчиком МЭ-302 осуществлять дополнительные функции:

- прием и преобразование аналоговых сигналов от датчиков спидометров семейств ДСЭ и МЭ-307 в цифровой дифференциальный сигнал, совпадающий по форме и параметрам с выходным сигналом датчика ЛИР;
- передачу двухфазного сигнала в блок преобразования и коммутации из состава МНСТО;

- обмен информацией с внешними устройствами (ЭВМ) по интерфейсам RS-422, CAN.

Внешний вид блока приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид блока ПС-3ДП

Преобразователь электромеханический

Несмотря на возможности ПС-3ДП, его применение не обеспечивает выдачу информации о пройденном пути в БВК на шасси, в которых отсутствует одометрический датчик. Для решения этой задачи разработан универсальный электромеханический преобразователь (ПЭМ), обеспечивающий возможность встраивания в любые изделия на колесных и гусеничных шасси за счет применения различных монтажных комплектов.

Блок ПЭМ обеспечивает преобразование углового перемещения вала в двухфазный дифференциальный сигнал с последующей выдачей потребителю (16 имп/оборот); преобразование углового перемещения вала в трехфазный сигнал с последующей выдачей потребителю (2,5 имп/оборот); преобразование углового перемещения вала в двухфазный дифференциальный сигнал и последующую выдачу информации потребителю по интерфейсу RS-422. Допускается устанавливать ПЭМ в разрыв механического привода спидометра шасси, а также между коробкой переключения передач и датчиком скорости шасси. Внешний вид блока приведен на рисунке 4.

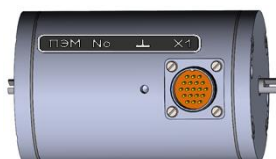


Рисунок 4 – Внешний вид блока ПЭМ

Блок преобразования навигационных данных

Основная функция БВК – решение оперативно-тактических информационных задач, поэтому перегружать его навигационными задачами нецелесообразно. Применение цифровых карт местности высокого разрешения могут существенно замедлять работу БВК, к тому же не всегда имеется достаточное количество свободных портов для подключения всех необходимых устройств. Для реализации стабильного обмена информацией между БВК и устройствами необходима разработка для каждого изделия своего варианта исполнения ФПО, что способствует увеличению трудозатрат. Необходим блок коммутации навигационных устройств, в котором будет осуществляться сбор информации, ее обработка и выдача результата по высокоскоростному интерфейсу в БВК. Для решения этой задачи был разработан блок преобразования навигационных данных (БПНД) РДПИ.465645.016 (рисунок 5).

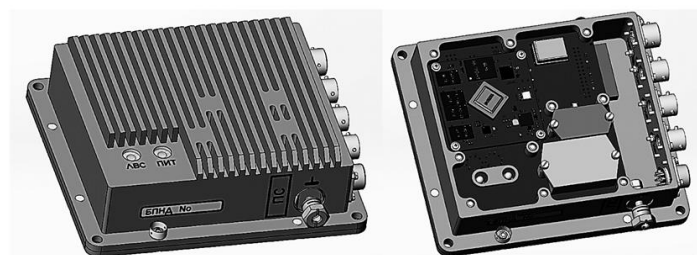


Рисунок 5 – Внешний вид блока БПНД

БПНД разработан на основе модуля процессорного Салют-ЭЛ24ПМ2 РАЯЖ.441461.031 производства АО НПЦ «ЭЛВИС». Модуль построен на кристалле 1892ВМ14Я, имеет 2 ядра ARM Cortex-A9 и 2 ядра DSP ELcore-30М.

БПНД предназначен для приема, передачи, обработки и хранения цифровой информации по интерфейсам Ethernet, RS-232, RS-422. В составе СТН «Меридиан-М» блок выполняет функцию сервера. Источники навигационной информации подключаются с помощью последовательных интерфейсов к блоку, где происходит обработка данных и выдача их в БВК, а оттуда на экран устройств индикации посредством трансляции дейтаграмм по сети Ethernet с использованием UDP/IP.

Повышение точности определения навигационных параметров за счет комплексной обработки сигналов от различных спутниковых навигационных систем

Применяемая в изделиях АО «НПП «Рубин» аппаратура спутниковой навигации (АСН) обеспечивает стабильную выдачу определения параметров местоположения объекта с высокой точностью в режиме работы по совместной группировке КНА ГЛОНАСС ВТ+GPS. Для отработки возможности применения СНС BeiDou в изделиях собственной разработки разработан спутниковый приемник РДПИ.464333.003 и антенный модуль РДПИ.464315.001, внешний вид которых приведен на рисунках 6 и 7 соответственно.

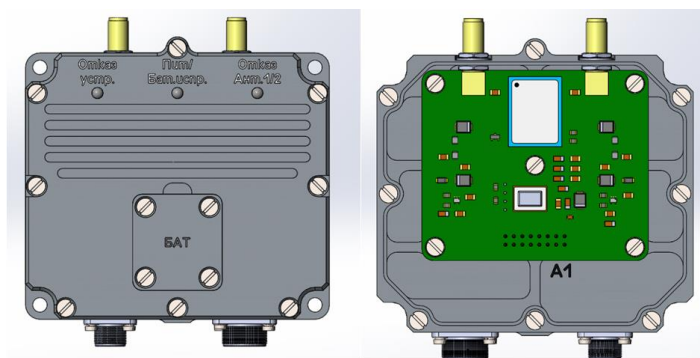


Рисунок 6 – Спутниковый приемник РДПИ.464333.003

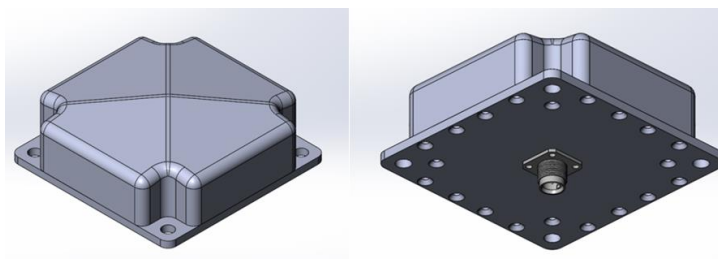


Рисунок 7 – Антенный модуль РДПИ.464315.001

Излучаемые спутниковыми системами сигналы принимаются антенным модулем, усиливаются, фильтруются и поступают в спутниковый приемник, в котором они вновь усиливаются, фильтруются и преобразуются в цифровой код. Дальнейшая обработка сигналов осуществляется в специализированном навигационном процессоре Nebulas IV, где формируются первичные навигационные параметры, обработка которых

производится специализированным модулем Unicore Comm UM982. Результаты решения навигационной задачи выдаются в бортовую ЭВМ по интерфейсу RS-232, либо RS-422. Антенный модуль разработан на основе антенны Harxon HX-CU7001A.

Новшеством предлагаемой разработки по отношению к АСН, применяемым в серийных изделиях разработки АО «НПП «Рубин», является возможность работы приемника от двух антенн, позволяющая определить дирекционный угол изделия и вести работу на стоянке и в движении при отказе инерциальной системы. Важной особенностью работы приемника является встроенный в модуль блок устойчивости к помехам, обеспечивающий получение надежных и точных данных о местоположении в сложных электромагнитных условиях. Поскольку сигналы от GPS спутников имеют искусственно заниженную точность при определении координат и скорости объектов, возможность работы с Beidou обеспечит стабильное высокоточное спутниковое решение даже при отказе GPS.

Для проведения исследований образца АСН собственной разработки антенна с приемником были установлены в аналоге изделия 9С931 из состава КСА ПВО тактического звена «Барнаул-Т», серийно выпускаемого для нужд МО РФ. Исследования проводились на мерном участке юстировочного полигона в режимах «ГЛОНАСС ВТ + GPS» и «ГЛОНАСС ВТ + GPS + BeiDou» на стоянке и марше. Рассчитанные значения минимальных и максимальных ошибок определения координат относительно эталонных данных, а также значения предельных среднеквадратических отклонений (СКО) координат на стоянке на первой контрольной точке (КТ1) приведены в таблице 5. Из таблицы 5 видно, что погрешности определения значений КТ1, полученные в режиме с использованием Beidou, меньше, чем при определении в режиме «ГЛОНАСС ВТ + GPS». Это связано с бóльшим количеством спутников, используемых в навигационном решении.

Таблица 5. Погрешности определения координат в зависимости от выбранного режима СНС на стоянке

Режим «ГЛОНАСС ВТ + GPS + BeiDou»						
Координата	Эталонные значения, м	Макс. получен. значение, м	Мин. полученное значение, м	Макс. ошибка измер. координат, м	Мин. ошибка измер. координат, м	СКО (3 σ)
X	5903467,360	5903468,338	5903468,126	0,978	0,766	0,186
Y	8518349,330	8518350,882	8518350,703	1,552	1,373	0,149
H	175,230	177,849	177,709	2,619	2,479	0,125
Режим «ГЛОНАСС ВТ + GPS»						
Координата	Эталонные значения, м	Макс. полученное значение, м	Мин. полученное значение, м	Макс. ошибка измер. координат, м	Мин. ошибка измер. координат, м	СКО (3 σ)
X	5903467,360	5903470,122	5903469,974	2,762	2,614	0,209
Y	8518349,330	8518351,303	8518351,012	1,973	1,682	0,178
H	175,230	179,548	179,193	4,318	3,963	0,172

Результаты заездов на мерном участке с известными координатами контрольных точек в режимах «ГЛОНАСС ВТ + GPS» и «ГЛОНАСС ВТ + GPS + BeiDou» приведены на рисунке 8.

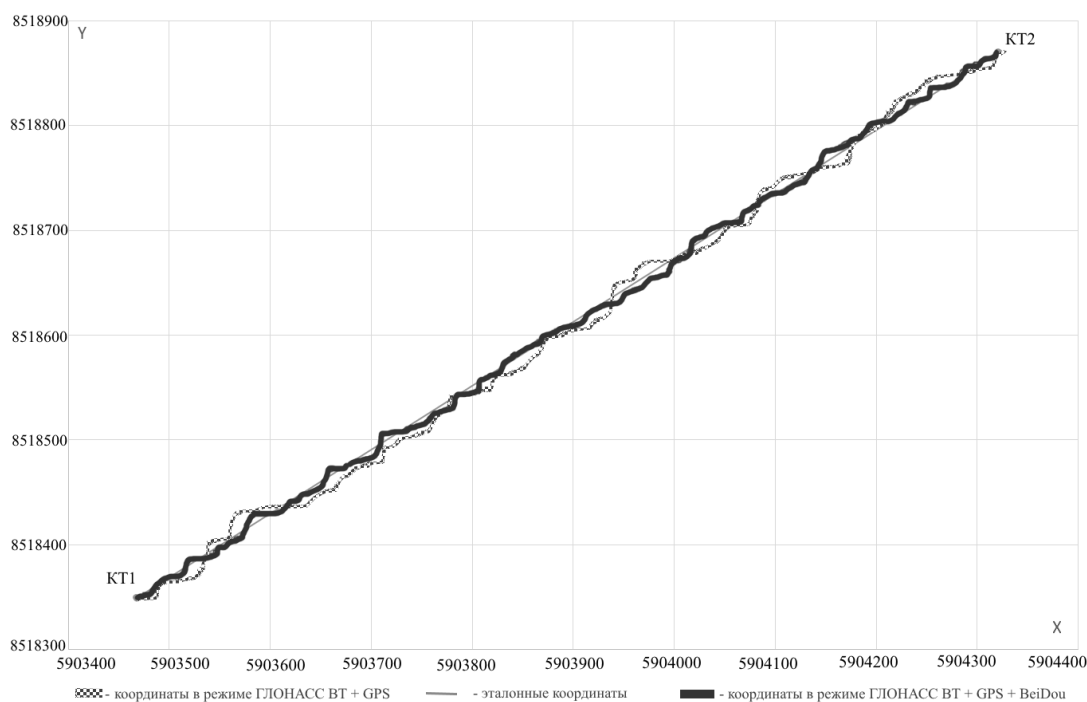


Рисунок 8 – Результаты заездов на мерном участке

Из рисунка видно, что координаты, определяемые приемником в режиме с совместной обработкой сигналов СНС BeiDou, имеют меньший разброс относительно эталонной траектории между КТ1 и КТ2 и, следовательно, имеют большую точность, чем при работе в режиме «ГЛОНАСС ВТ + GPS».

Повышение точности определения координат СН «Меридиан-М» за счет работы применения алгоритма работы спутниковой навигации в дифференциальном режиме

Местоположение точки наблюдения при использовании СН по сигналам ГНСС может определяться двумя методами - абсолютным и дифференциальным (относительным).

Абсолютный метод определения координат заключается в том, что СН вычисляет свои координаты в реальном времени только на основе информации, полученной непосредственно от НКА. Абсолютный метод предполагает получение координат одной СН. При этом реализуется традиционный метод пространственной линейной засечки (прямая геодезическая засечка) положения СН относительно НКА.

Дифференциальный метод обеспечивает получение координат определяемых пунктов с более высокой точностью по сравнению с абсолютным методом.

Принципиальная возможность повысить таким способом точность навигационно-временного обеспечения обусловлена наличием в измерениях СН коррелированной во времени и пространстве составляющей, которая при использовании дифференциальных (относительных) методов компенсируется (при сильной корреляции – практически полностью, при слабой – частично).

При дифференциальном методе для повышения точности оценки текущих координат в решении навигационной задачи СН использует дифференциальные поправки, которые способна передавать и принимать в по цифровому интерфейсу.

Дифференциальный режим предусматривает взаимную работу двух и более АСН которые осуществляют прием сигналов одних и тех же спутников. Один из приемников работает в базовом режиме (неподвижном) и является источником дифференциальных поправок. Второй приемник является потребителем дифференциальных поправок и может быть мобильным. При этом для взаимной работы необходим канал связи.

Предложенный алгоритм работы СН может быть реализован в действующем КСА ПВО тактического звена «Барнаул-Т» по средствам использования штатных средств связи (радиостанции Р-168) для обмена дифференциальными поправками. Взаимная работа двух и более СТН «Меридиан-М» позволит повысить точность определения координат объектов до сантиметровой точности.

Применение компактных схмотехнических устройств, расширяющих функционально-технические возможности БВК изделий ПВО ТЗ в части организации навигационного обеспечения

Преобразователь интерфейсов

Навигационные комплексы посредством блока коммутации или составной части, отвечающей за информационный обмен осуществляют взаимодействие с БВК и сопряженными системами объекта.

Существует несколько вариантов организации информационного обмена с БВК, каждый из которых имеет свои недостатки. Основными из которых являются:

- невозможность работы НК в случае отказа его составной части, связующей с бортовой ЭВМ;
- наличие промежуточных устройств в канале передачи данных от навигационной системы к БВК, приводит к снижению скорости обмена сообщениями и увеличивает риск потери пакетов данных.

Эти недостатки негативно влияют на точность синхронизации в системе единого времени (СЕВ) изделия, которая играет ключевую роль в единой системе управления ТЗ. Для обеспечения выхода на передовой уровень КСА и систем управления ТЗ система должна удовлетворять современным требованиям к эффективности [3].

Целесообразно планировать архитектуру НК таким образом, чтобы в его состав входило наименьшее количество блоков, при этом подключение навигационных измерителей осуществлялось независимо друг от друга

напрямую в бортовую ЭВМ без использования промежуточных устройств. В этом случае при отказе одного из измерителей комплекс сможет функционировать в ограниченном режиме за счёт данных от оставшихся блоков. Принимая во внимание автономное подключение блоков к БВК, есть вероятность возникновения вопросов связанных с ограниченным количеством портов с необходимыми интерфейсами для обеспечения корректной работы НК. В связи с этим становится актуальной разработка технического решения, позволяющего при наличии свободных портов на БВК, работающих по неподходящему для навигационных измерителей интерфейсу, использовать их за счёт преобразования в требуемый интерфейс. Большинство навигационных датчиков обмениваются информацией по стандарту RS-422 с устройствами обработки данных. Поэтому возникает ситуация, когда количество портов для RS-422 оказывается недостаточными, тогда как порты стандарта RS-232 остаются незадействованными. Поэтому преобразование интерфейсов в необходимый стандарт является оптимальным решением [4].

Реализация данной задачи возможна с применением преобразователя, основанного на микросхемы 5559ИН4У, которая включает в себя инвертирующие трансляторы уровней, преобразующие логические сигналы ± 5 В в требуемые значения стандартом EIA/TIA-232. Дополнительно используется микросхемы 5559ИН10БУ, выполняющая функцию приёма-передачи по стандарту RS-485/422 для организации дуплексного канала связи.

Работа преобразователя возможна в двух режимах. Первый вариант информация с блока использующий интерфейс RS-422, поступает на микросхему 5559ИН10БУ, которая преобразует дифференциальный сигнал в однополярный сигнал с уровнем напряжения 5 В. Далее сигнал поступает на микросхему 5559ИН4У, где повышается до уровня, используемым стандартом RS-232. Преобразованные данные поступают для обработки в бортовой вычислитель индикации оператору. В случае работы в режиме

приема данные от БВК преобразуются в однополярный сигнала, а затем в дифференциальный. Питание микросхем осуществляется посредством вспомогательного сигнала, которым выступает выходной контакт «DTR» разъема БВК, на котором посредством управления портом устанавливается логический ноль с уровнем напряжения от 5 до 15 В. После стабилизатора установленного на преобразователи, напряжение понижается до уровня 5 В, необходимого для питания микросхем.

Преобразователь также способен взаимодействовать между БВК и устройствами функционирующими по интерфейсу RS-485. Выбор режима работы осуществляется за счет изменения уровня напряжения на контактах «DE» и «nRe» микросхемы 5559ИН10БУ. При высоком логическом уровне (5 В) происходит передача данных, при низком (уровень 0В) – происходит работа на прием. Симплексный канал связи обеспечивается за счет вспомогательного сигнала, для которого используется выходной контакт «RTS» разъема БВК. При приеме этот контакт неактивен, а при передаче получает программно заданное напряжение от 5 В до 15 В, которое стабилизируется до 5 В на контакте «DE» с помощью подбираемого резистора. Схема подключения преобразователя и структурная схема его работы приведены на рисунках 9 и 10 соответственно. При необходимости обратного преобразования (например, при работе навигационного измерителя по стандарту RS-232) можно использовать инверсную модификацию данного преобразователя.

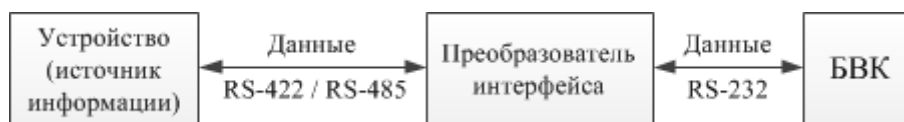


Рисунок 9 – Схема подключения преобразователя интерфейсов

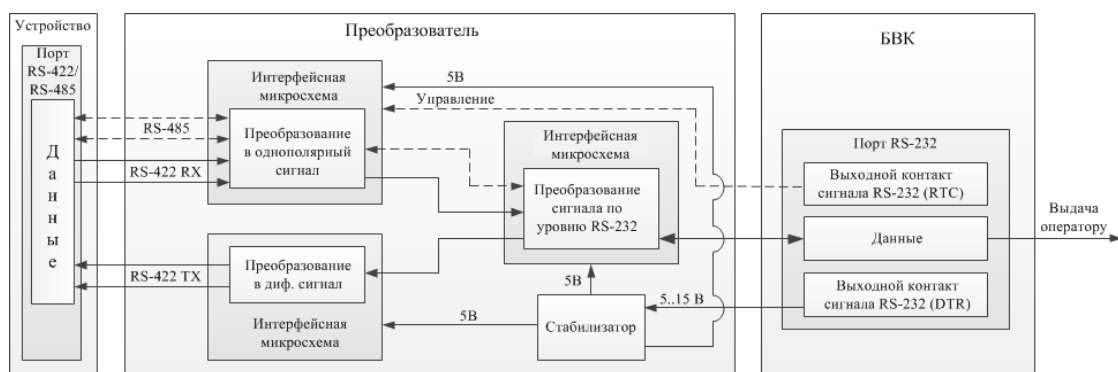


Рисунок 10 – Структурная схема работы преобразователя интерфейсов

Предлагаемое решение позволяет:

- встраивать преобразователь непосредственно в жгут подключения аппаратуры к БВК посредством монтажного комплекта к разъему;
- исключить применения отдельного блока, монтируемого на изделии-носителе.

Эффективность применения преобразователя осуществлялась на СТН «Меридиан-М». Все навигационные измерители этой системы, кроме аппаратуры спутниковой навигации (АСН), функционируют по интерфейсу RS-422. Для проверки работоспособности предложенной схемотехнической реализации был выбран инерциальный блок БИН – самое технически сложное устройство в НК с самой большой длиной пакетов данных, обеспечивающее высокоточное определение параметров движения и положения объекта, а также обладающее высокой помехозащищенностью [5]. Подключение БИН осуществлялось двумя способами:

- к БПНД на порт с интерфейсом RS-232 с дальнейшим подключением к бортовому вычислителю;
- к БВК на порт, функционирующий по стандарту RS-232.

Проверка исправности подключения и корректности выдаваемых данных проводилась с использованием окна функционального контроля и режима «АС» ФПО СТН «Меридиан-М». Отсутствие ошибок в обоих случаях подтверждает корректную работу преобразователя. [6].

Преобразователь метки времени

В системе ЕСУ ТЗ ключевую роль играет система единого времени. Все входящие составные части получают временную информацию от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) типа ГЛОНАСС и GPS, через специализированную аппаратуру спутниковой навигации (АСН). В изделиях разработки АО «НПП «Рубин» применяются различные типы АСН, передающей высокоточную временную информацию объектам-носителям, однако не все они могут самостоятельно выдавать метку времени через стандартизированный интерфейс.

Пространственно-временная информация от АСН передается в БВК по интерфейсу RS-232, при этом сигнал метки времени попадает в зону неопределенности, что недопустимо для данного стандарта. Из-за специфики уровня PPS-сигнала от АСН прием в RS-232 невозможен, а выделенная линия для метки времени не всегда целесообразна. Поэтому на БВК требуется наличие свободного порта, способного распознать данный сигнал, поскольку вычислитель не воспринимает его напрямую. Эта ситуация требует применения технического решения, позволяющего использовать некоторые типы АСН и преобразовывать сигнал метки времени в вид, однозначно обрабатываемый БВК.

Учитывая, что при работе по интерфейсу RS-232 обычно задействованы линии RX, TX и GND, для решения поставленной задачи в качестве согласующего устройства возможно применение преобразователя, основанного на микросхеме 5559ИН4У, которая представляет собой инвертирующий транслятор уровней, преобразующий логические показатели сигнала PPS до необходимых согласно стандарту EIA/TIA-232. Вырабатываемый импульс метки времени АСН поступает КМОП уровнем на интерфейсную микросхему а далее после преобразования поступает контакт разъема БВК (например, CTS), который может работать на прием посредством программного управления. Микросхема запитывается за счет вспомогательного сигнала которым выступает выходной контакт разъема

БВК (например, RTC), на который программно устанавливается логический ноль с уровнем сигнала от 5 до 15 В. Стабилизатор, установленный на преобразователе, понижает до уровня 5 В, необходимого для питания микросхемы. Преобразованная метка времени до уровня RS-232 далее может обрабатываться системой и свободно передаваться по сети. Схема подключения преобразователя и его структурная схема приведены на рисунках 11 и 12 соответственно.



Рисунок 11 – Схема подключения преобразователя метки времени



Рисунок 12 – Структурная схема преобразователя метки времени

Предлагаемое решение позволяет:

- встраивать преобразователь непосредственно в жгут подключения аппаратуры к БВК посредством монтажного комплекта к разъему;
- исключить применения отдельного блока, монтируемого на изделии-носителе.

Предполагаемый внешний вид и конструкция преобразователя изображены на рисунке 13.



Рисунок 13 – Внешний вид и конструкция преобразователя

Погрешность синхронизации между клиентом и сервером при использовании протокола NTP составляет 0,215 мс, при этом применение NTP с корректирующим сигналом PPS, позволяет уменьшить погрешность до 0,00114 мс или 1,14 мкс [7].

Выводы

Реализация СТН в виде программно-аппаратной системы обеспечивает использование различных вариантов датчиков информации для обеспечения точностных характеристик НК.

В настоящее время блоки ПС-ЗДП, ПЭМ, БПНД выпускаются серийно и успешно применяются в различных навигационных системах и комплексах, в том числе и в НК собственной разработки.

Результаты проведенных испытаний показали, что разработанный спутниковый приемник по техническим характеристикам может конкурировать с покупными АСН, применяемыми в серийных изделиях в настоящее время. В ближайшей перспективе возможно внедрение СНС собственной разработки в линейку изделий серийно выпускаемых для нужд Министерства обороны РФ, а также для поставки на экспорт.

Применение преобразователя интерфейсов расширяет возможности стыковки технических устройств по интерфейсам, которые не были доступны в их базовой конфигурации. Кроме того, позволяет корректировать структуру построения навигационного обеспечения за счет исключения промежуточных устройств, являющихся посредником передачи данных на бортовой вычислитель. Промежуточные устройства могут быть заменены БВК. Это способствует улучшению быстродействия системы за счет увеличения скорости передачи сообщений по кратчайшей траектории и повышает надежность НК в целом.

Использование рассмотренных предложений при организации системы единого времени позволяет обеспечить повышение точности синхронизации и привязки к единому времени основных процессов и функций, выполняемых средствами специализированных программно-технических комплексов и пунктов управления в изделиях разработки АО «НПП «Рубин». Применение преобразователя метки времени позволило уменьшить погрешность синхронизации часов клиента и сервера до порядка микросекунд.

Заключение

В результате выполнения научно-исследовательской работы были рассмотрены перспективные НК, применяемые в изделиях специального назначения. Показаны основные подходы и принципы исследований и разработок при возникновении специфических нетривиальных вопросов при изготовлении новых изделий и различных вариациях ранее выпускаемых модификаций подвижных носителей.

Расширение номенклатуры разрабатываемых изделий оказывает благоприятное влияние на развитие предприятия в целом, способствует получению новых государственных контрактов и заказов, а также качественно повышает уровень научно-исследовательских работ.

Одним из основных шагов в дальнейшем исследовании является доработка моделей и алгоритмов ФПО СТН «Меридиан» и КСА ПВО тактического звена «Барнаул-Т» в части использования дифференциального режима спутниковой навигации.

Список используемых источников

1. Особенности применения навигационных комплексов в изделиях АО «НПП»Рубин» / Пальгин Н.И., Михайлов С.В., Исаев С.Д., Волкова Ю.С. // Информационно-управляющие телекоммуникационные системы, средства поражения и их техническое обеспечение: сб. науч. ст. по материалам VI Всерос. Межведомственной науч.-техн. конф. / под общ. ред. М.М. Бутаева. Пенза: Изд-во ПГУ, 2024. С. 254-264.
2. Разработка и построение комплекса навигации и ориентирования для подвижных изделий сухопутного базирования / Н.И. Пальгин, С.В. Михайлов, В.В. Никитин, И.П. Филюшкин // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №12. С. 20–28.
3. Мейта Р.В. Синхронизация времени во встраиваемых системах / Р.В. Мейта, Е.А. Першин, А.А. Шамин, М.А. Сонькин // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск, ТПУ – 2016 – С.26-27.
4. Serial interface converter of micromechanical sensors to a parallel interface / Larkin E.V., Antonov M.A. // Lecture Notes in Computer Science. 2019. Т. 11656 LNCS. С. 378-386.
5. Михайлов С.В. Исследование возможности применения бесплатформенных инерциальных измерителей в составе системы топопривязки и навигации собственной разработки // Радиопромышленность. 2021. Т. 31. № 1. С. 28–36.
6. Применение миниатюрных преобразователей, расширяющих функционально- технические возможности бортовых вычислительных комплексов изделий ПВО ТЗ в части организации навигационного обеспечения / Пальгин Н.И., Михайлов С.В., Исаев С.Д., Гришаев Е.В.// Информационно-управляющие телекоммуникационные системы, средства поражения и их техническое обеспечение: сб. науч. ст. по материалам V

Всерос. Межведомственной науч.-техн. конф. / под общ. ред. М.М. Бутаева.
Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. С. 135-144.

7. Применение компактных схемотехнических решений для повышения точности синхронизации времени в комплексах средств автоматизации тактического звена/ Пальгин Н.И., Михайлов С.В., Исаев С.Д., Шмелев А.А.// РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ-АНТЕЙ» №12 (20) – 2023: ТРУДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ-АНТЕЙ». – СПб.: Балтийская печать, 2023. С. 119-127.