

УДК 629.7.054.07

Малогабаритный интегрированный навигационно-посадочный комплекс

Б.С.Алешин, Д.А. Антонов, К.К. Веремеенко, Р.Ю. Зимин, М.В. Жарков, И.М. Кузнецов,
А.Н. Пронькин

Аннотация

В работе описан один из возможных подходов к разработке малогабаритного интегрированного навигационно-посадочного комплекса беспилотного летательного аппарата. Рассматривается концепция построения, конструктивно-схемные решения и программно-математическое обеспечение комплекса. На базе предложенного подхода приводится пример разработки малогабаритного бортового навигационно-посадочного комплекса (МБНПК) и результаты его летных испытаний.

Ключевые слова:

беспилотный летательный аппарат, инерциальная навигационная система, микромеханические датчики, спутниковая навигационная система, магнитный компас, система воздушных сигналов, оптимальная обработка информации, интегрированная навигационная система.

Постановка задачи

Одним из основных направлений развития современных средств определения параметров ориентации и навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является интеграция в единый комплекс систем, использующих измерения различной физической природы, для создания избыточности. Использование в составе пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) систем ориентации и навигации, построенных на принципах интеграции, позволяет значительно улучшить такие критические характеристики ПНК как безопасность, помехозащищенность, точность, доступность, непрерывность и целостность информационного обеспечения. Системная интеграция, кроме того, приводит к уменьшению конечной стоимости комплекса за счет возможности использования в качестве измерителей менее точных датчиков и систем без ухудшения требуемых характеристик.

Использование в качестве основы при построении навигационного комплекса идеи интеграции систем, работающих по различным геофизическим полям Земли и сигналам от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и их наземных дополнений в совокупности с адаптивной структурой навигационного комплекса позволяет решить задачу автоматической посадки БПЛА. Предлагаемая технология дает возможность использования в комплексе алгоритмов встроенного (автономного) бортового контроля целостности информационного обеспечения для решения задач обнаружения и исключения отказов датчиков и систем.

Для решения такого рода задач в базовый состав предлагаемого навигационного комплекса должны входить:

- инерциальные датчики измерения проекций абсолютной угловой скорости вращения и проекций кажущегося ускорения;
- магнитный компас;
- система воздушных сигналов;
- радиовысотомер;
- приёмник сигналов ГНСС.

С целью решения более широкого круга задач в базовом комплексе должна быть предусмотрена возможность расширения состава, включающая:

- оптические средства;
- электронную карту рельефа местности (подстилающей поверхности) с сетью наземных искусственных ориентиров во взлетно-посадочной зоне с целью организации автономной фотограмметрической системы посадки;
- локальную контрольно-корректирующую станцию (ЛККС) ГНСС, приёмник сигналов ЛККС;
- спутниковую систему ориентации (ССО) на базе трех приёмников сигналов ГНСС;
- псевдоспутники (ПС) ГНСС и бортовой приемник сигналов ПС.

При патентных исследованиях и обзоре открытой научно-технической литературы не было обнаружено прямых аналогов предлагаемой технологии. Отсутствие аналогов в России и мире предопределяет новизну разработки, которая позволит повысить конкурентоспособность в области создания современных бортовых комплексов не только для беспилотной, но и пилотируемой авиации.

Аналитический обзор материалов из российских и зарубежных открытых источников позволяет сформулировать основные требования к характеристикам навигационной составляющей ПНК современного БПЛА. К таким требованиям следует отнести

минимизацию временных и финансовых затрат на разработку навигационного комплекса для конкретного БПЛА, увеличение срока службы, контроль состояния изделия на всех этапах жизни, максимальную унификацию, использование современных методик имитационного и полунатурного моделирования и натуральных испытаний, снижающих стоимость разработки и конечную стоимость изделия. Учитывая постепенное ужесточение требований к навигационному обеспечению ПНК БПЛА и приведение их в соответствие с требованиями к навигационному обеспечению ПНК пилотируемых летательных аппаратов, в технологии разработки навигационного комплекса необходимо учитывать требования, содержащиеся в отраслевых нормативных документах: КТ-178В, КТ-160Д и др. Кроме того, при разработке такого комплекса должны обеспечиваться следующие преимущества:

- снижение требований к подготовке оператора БПЛА;
- мобильность и короткое время развертывания наземной части комплекса;
- модульность архитектуры оборудования;
- возможность длительной работы без поддержки ГНСС;
- всепогодность, независимость от времени суток и возможность взлета и посадки с использованием неподготовленных площадок.

В соответствии с прогнозом Национального плана развития науки и технологий в авиастроении [1], в ближней перспективе следует ожидать совершенствования систем управления по нескольким направлениям, в том числе в направлении развития систем контроля движения летательного аппарата (ЛА) на взлете и посадке с выдачей предупреждений и рекомендаций, и реализации автоматической системы взлета/посадки. Конечной целью автоматизации управления ЛА является создание беспилотного ЛА, способного совершать полеты в гражданском воздушном пространстве. Этот факт в совокупности с требованиями к помехозащищенности и устойчивости навигационного комплекса и ПНК в целом к искусственным и естественным приводит к необходимости построения как корректируемой по сигналам ГНСС, так и автономной системы автоматического взлёта/посадки за счет использования геофизических полей Земли. Ввиду критичности системы автоматической посадки БПЛА к ряду факторов, в предлагаемом подходе к разработке навигационного комплекса значительное внимание уделяется алгоритмам встроенного бортового контроля целостности.

В статье описан подход к разработке малогабаритного интегрированного навигационно-посадочного комплекса на примере МБНПК для БПЛА малой и средней грузоподъемности.

Концепция построения, состав и структура МБНПК

Особенностью комплекса является гибкая структура, позволяющая разработчику подбирать его состав и структуру в зависимости от условий применения, что отличает его от комплекса предыдущей версии [2]. Основой МБНПК является бортовой навигационный комплекс (БНК) (рисунок 1). В состав БНК входят датчики и системы, позволяющие организовать структуру, удовлетворяющую минимальным требованиям для определения параметров ориентации и навигации: инерциальный модуль DMU02 производства компании Silicon Sensing и спутниковый навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS OEMV-1G производства компании NovAtel. При реализации схемы БНК со спутниковой системой ориентации (ССО) в состав системы включаются дополнительно два приемника OEMV-1G.

Микромеханический инерциальный модуль DMU02 выдает потребителю три проекции абсолютной угловой скорости вращения и три проекции ускорения на ортогональные оси приборной системы координат. К достоинствам модуля следует отнести относительно низкую стоимость, малые габариты (объем менее 0.018 дм³), достаточно высокую точность для датчиков такого класса: уход нуля датчиков угловой скорости (ДУС) менее 10⁰/час, диапазон измеряемых угловых скоростей ± 300 °/сек, ускорений – $\pm 6g$.

В качестве основного корректора по позиционно-скоростной информации в состав БНК включен приемник ГЛОНАСС/GPS OEMV-1G с частотой решения навигационной задачи 5 Гц. Частота выдачи “сырых” измерений псевдодальностей, доплеровских сдвигов и набега фазы несущей также составляет 5 Гц. Такой набор измерений позволяет, в случае расширения состава комплекса за счет двух дополнительных приёмников ГНСС, получить высокую частоту определения углов ориентации в алгоритмах ССО и организовать вычисление оценок погрешностей в алгоритмах комплексной обработки информации (КОИ) с такой же частотой. К достоинствам использования OEMV-1G в качестве корректора и основы для ССО следует отнести: высокую точность определения местоположения и скорости, а также определения набега фазы несущей (менее 0.2 мм), что позволяет организовать ССО без использования специализированных приемников с общим генератором частоты. К недостаткам – достаточно высокую стоимость, как самих приемников, так и авиационных ГНСС антенн требуемого качества.

В состав вычислительного комплекса БНК входят три микроконтроллера производства компании Microchip. Один из них является основным (“Контроллер 1” на рисунке 1). В нем реализуются следующие основные функции МБНПК:

- управление и контроль за всеми устройствами (основными и опциональными), входящими в состав МБНПК, а также сигнализация об их режимах;
- сбор, обработка и передача данных по внутренним и внешним шинам данных;
- синхронизация работы датчиков, систем и алгоритмов;
- реализация всех алгоритмов за исключением алгоритмов ССО и интегрального контроля;
- запись и хранение в энергонезависимой памяти заводских и текущих настроек параметров систем.

В связи со значительными вычислительными ресурсами, необходимыми для реализации функций ССО и интегрального контроля, в состав БНК включены еще два вспомогательных контроллера. “Контроллер 2” на рисунке 1 выполняет:

- сбор, обработку и передачу данных от приемников ГНСС;
- реализация алгоритмов ССО.

Третий контроллер (“Контроллер 3” на рисунке 1) предназначен для выполнения функций интегрального контроля (ААИМ).

В состав БНК входит модуль памяти. Его основное назначение:

- хранение электронной карты магнитного склонения;
- запись и хранение пакетов данных (функция “черный ящик”);
- запись и хранение версий программного обеспечения всех трех контроллеров, для реализации функции перезаписи программной памяти контроллеров через внешние порты.

В основной состав МБНПК кроме БНК входят магнитный компас (МК), например, М-1Т компании Транзас Телематика. МК выполняется в виде отдельного устройства для установки на борту в местах наименьшего влияния сторонних магнитных полей. В состав магнитного датчика входят:

- трехосный магниторезистивный измерительный модуль производства компании Honeywell НМС1043;
- трехосный микромеханический акселерометр LIS3LV02DQ производства компании STMicroelectronics, предназначенный для определения взаимной ориентации приборных систем координат МК и БНК.

В зависимости от решаемых задач в состав МБНПК могут быть включены: система воздушных сигналов (СВС), например, АLT51 производства ЗАО «НТЦ Рисса»; приемник дифференциальных поправок сигналов ГНСС; радиовысотометр (РВ); фотограмметрическая система для обеспечения дублирования функций автоматической посадки.

При этом алгоритмы КОИ с использованием дополнительного оборудования реализуются на вычислителе “Контроллер 1”.

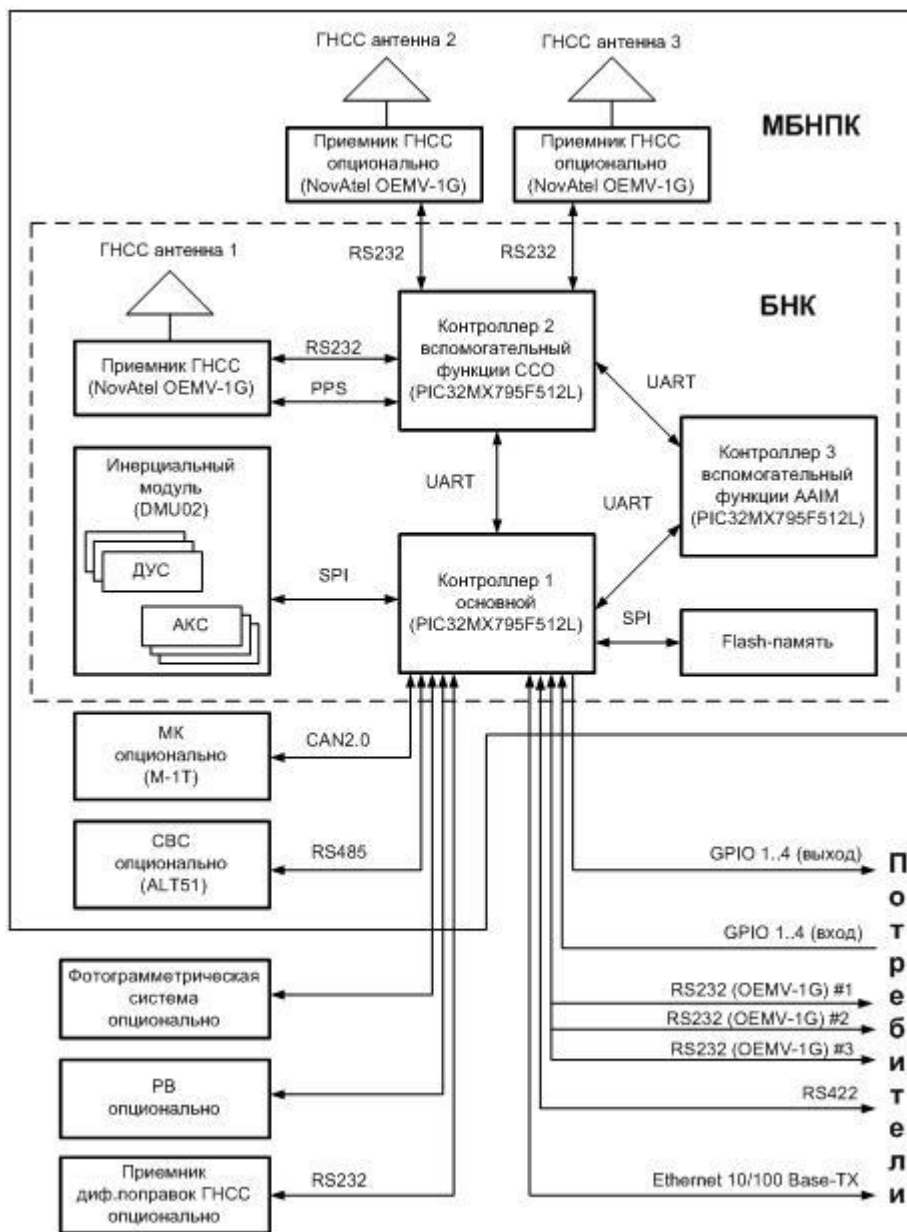


Рисунок 1 Обобщенная структурная схема МБНПК и дополнительного (опционального) оборудования

Интерфейсы МБНПК предназначены для приема-передачи разовых дискретных команд и обмена бинарными пакетами данных с аппаратурой потребителей. В МБНПК реализовано: 4 дискретных входа: сигнал “Обжатие шасси”, команда “Перезагрузка вычислителей”, команда “Тест-контроль”, команда “Калибровка”; 4 дискретных выхода: сигналы “Исправность”, “Готовность”, “Питание”, “Код ошибки”; 3 канала RS232 для контроля и управления параметрами ГНСС приемников OEMV-1G; 1 канал RS422 для

обмена бинарными пакетами данных с аппаратурой потребителей; 1 канал Ethernet 10/100 Base-TX, предназначенный для высокоскоростной передачи сырых измерений инерциальных датчиков, “сырых” измерений ГНСС приемников в аппаратуру потребителя.

Сигнал “Обжатие шасси” используется для обозначения режима стоянки или движения БПЛА по ВПП. Разовая команда “Перезагрузка” предназначена для перезапуска вычислителей МБНПК. При наличии команды “Тест-контроль” на всех выходных интерфейсах МБНПК выставляются данные установленного вида. Команда “Калибровка” используется в случае проведения калибровки инерциальных датчиков с использованием поворотного стола, термокамеры, центрифуги. Интегральный сигнал “Исправность” формируется на основе информации о внутреннем контроле состояния устройств МБНПК. В случае отказа хотя бы одного из устройств сигнализируется отказ. Сигнал “Готовность” является интегральным.

Конструктивное исполнение МБНПК

На базе предложенного подхода Центром спутниковых информационных технологий (ЦСИТ) Московского авиационного института был разработан экспериментальный образец МБНПК, внешний вид которого приведен на рисунке 2. На рисунке 3 приводится вид используемого внешнего магнитного компаса М-1Т производства компании Транзас Телематика. На рисунке 4 приводится МБНПК в сборе с тремя ГНСС антеннами, расположенными на треугольном основании, закрепленном для демонстрации на геодезическом штативе. В такой конфигурации комплекс демонстрировался в экспозиции МАИ на МАКС-2011.

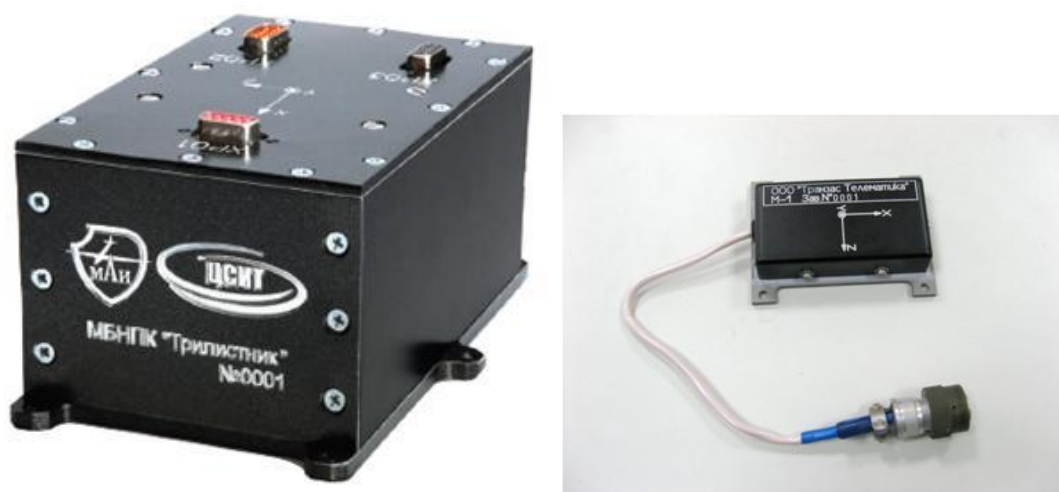


Рисунок 2 – Малогабаритный бортовой навигационно-посадочный комплекс и магнитный компас М-1Т компании “Транзас Телематика”



Рисунок 3 – Комплекс в сборе с тремя ГНСС антеннами

Структура алгоритмического обеспечения БНК при коррекции от МК и СВС

На этапе выработки концепции построения МБНПК была отмечена необходимость реализации гибкой схемы алгоритмического обеспечения, под которой понимается возможность построения различных вариантов структуры комплекса и его алгоритмического обеспечения в зависимости от текущего состояния датчиков, режима работы комплекса, требований этапа полета и внешних условий [3-6]. Как уже отмечалось, ядром МБНПК является инерциальный модуль, позволяющий реализовать алгоритмы бесплатформенной инерциальной системы и алгоритм гировертикали, которые в совокупности обеспечивают потребителя минимальным объемом информации (углы крена и тангажа) даже в случае отказа всех остальных датчиков и систем. В состав БНК (рисунок 1) также входит ГНСС приёмник. МК и СВС являются дополнительным оборудованием, и в совокупности с БНК образуют МБНПК в предлагаемой конфигурации. На рисунке 4 приведена укрупненная блок-схема алгоритмического обеспечения БНК в случае использования дополнительной информации от МК и СВС. Блоки АКС1, АКС2, АКС3 соответствуют акселерометрам инерциального модуля DMU02. Информационные связи 1, 3 и 5 содержат измерения пропорциональные проекциям кажущегося ускорения на соответствующие оси, а также текущее значение температуры инерциального датчика для проведения процедуры термокомпенсации. Блоки ДУС1, ДУС2, ДУС3 соответствуют датчикам угловых скоростей инерциального модуля. Информационные связи 2, 4 и 6 содержат измерения пропорциональные проекциям абсолютной угловой скорости на соответствующие оси, а

также текущее значение температуры инерциального датчика. Измерения инерциального модуля поступают на вход цифровых фильтров (блоки **НЧ фильтр**).

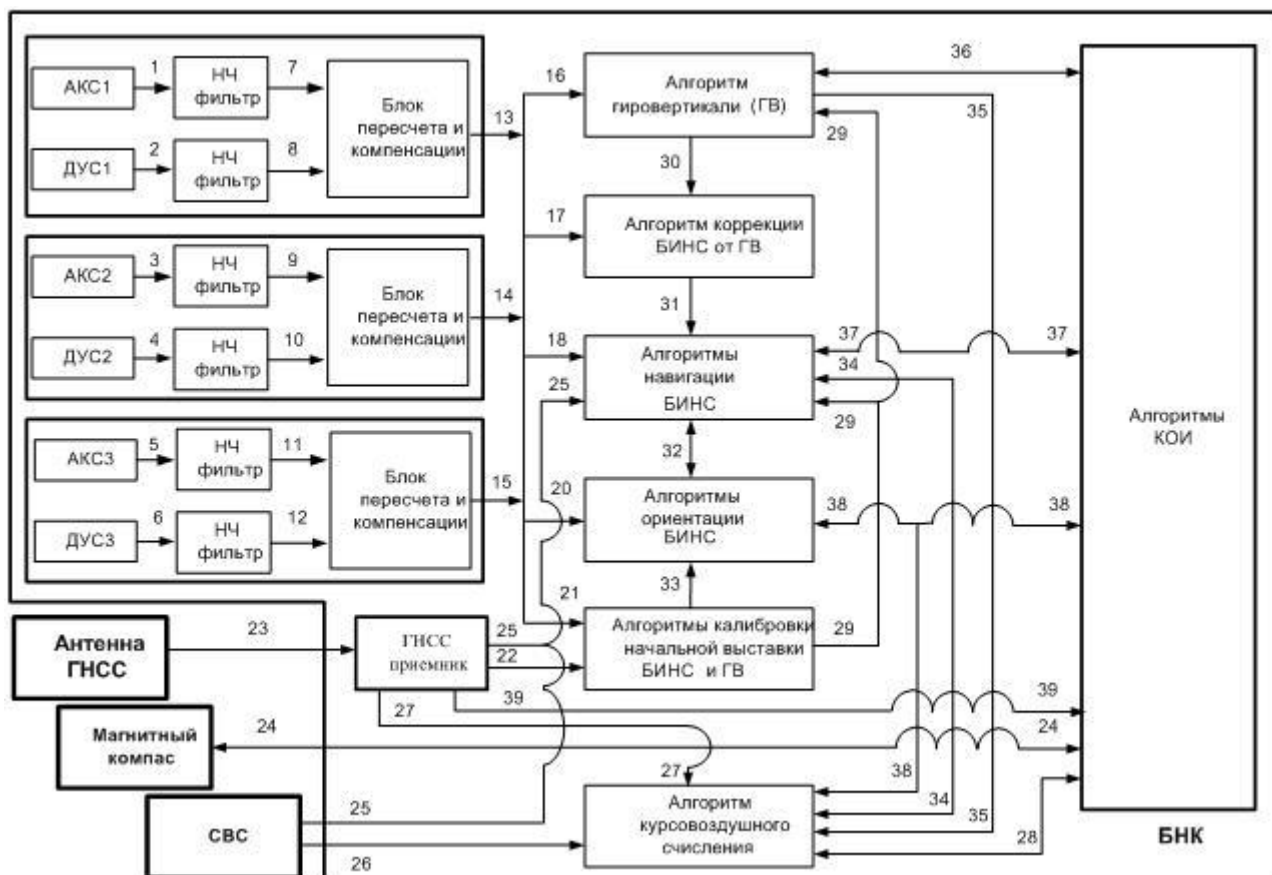


Рисунок 4 – Укрупненная блок-схема алгоритмов БНК

Информационные связи 7, 8, 9, 10, 11 и 12 осуществляют передачу показаний инерциального модуля в три **Блока пересчета и компенсации**. Функции, реализуемые этими блоками:

- приведение измерений, пропорциональных проекциям абсолютной угловой скорости вращения, кажущегося ускорения и показаний температурных датчиков к требуемому виду;
- пересчет измерений инерциальных датчиков из приборной системы координат, образованной осями чувствительности инерциального модуля, в систему координат связанную с МБНПК;
- компенсация погрешностей инерциальных датчиков на основе математических моделей, полученных на этапе калибровки изделия.

Информационные связи 13, 14 и 15 содержат проекции абсолютной угловой скорости вращения и кажущегося ускорения на оси связанной системы координат с учетом моделей погрешности инерциальных датчиков.

Блок **Алгоритм гировертикали (ГВ)** реализует дискретный алгоритм ГВ. На вход блока поступает информация:

- о проекциях абсолютной угловой скорости вращения и кажущегося ускорения (информационная связь 16);

- значения дрейфов нулей ДУСов, полученных на этапе предполетной подготовки, и начальных значений углов крена и тангажа (информационная связь 29);

- оценки погрешностей нулей и ошибок масштабных коэффициентов ДУСов и акселерометров, а также оценки погрешности определения углов крена и тангажа, полученные с использованием алгоритмов комплексной обработки информации (информационная связь 36);

Выходная информация блока **Алгоритм гировертикали (ГВ)** – углы крена и тангажа - поступает в **Алгоритм коррекции БИНС от ГВ** (информационная связь 30), **Алгоритм курсовоздушного счисления** (информационная связь 35) и в **Алгоритмы КОИ** (информационная связь 36).

Блок **Алгоритм коррекции БИНС от ГВ** реализует коррекцию БИНС от ГВ в режимах, когда другая корректирующая информация недоступна. На вход алгоритма поступает информация о значениях углов крена и тангажа из алгоритма ГВ (информационная связь 30), а также проекции абсолютной угловой скорости вращения и кажущегося ускорения (информационная связь 17). Выходом алгоритма является информация о значениях углов крена и тангажа и признак включения/выключения коррекции БИНС от ГВ (информационная связь 31).

В блоке **Алгоритмы навигации БИНС** реализуется дискретный навигационный алгоритм БИНС. На вход алгоритма поступает информация:

- об углах крена и тангажа из алгоритма коррекции БИНС от ГВ (информационная связь 31);

- об углах курса, крена и тангажа из алгоритмов ориентации БИНС (информационная связь 32);

- значения проекций кажущегося ускорения на оси связанной системы координат (информационная связь 18);

- о значениях географических широты, долготы и высоты, и проекций путевой скорости на оси горизонтной системы координат направленной по сторонам Света, поступающие с приемника ГНСС (информационная связь 25);

- информация о высоте от СВС (информационная связь 25);

- о значениях географических широты, долготы и высоты, и проекций путевой скорости на оси горизонтной системы координат, направленной по сторонам Света, вводимая на этапе предполетной подготовки (информационная связь 29);

- географические широта и долгота, а также проекций путевой скорости на горизонтальные оси горизонтной системы координат, направленной по сторонам Света, получаемые в алгоритме курсовоздушного счисления координат (информационная связь 34);

- оценки погрешностей координат, скоростей, постоянных ошибок и масштабных коэффициентов акселерометров, а также гироманнитный курс, получаемые в алгоритмах комплексной обработки информации (информационная связь 37).

Выходной информацией из блока навигационных алгоритмов БИНС являются:

- значения долготы, широты, северной и восточной проекций путевой скорости, значения проекций ускорения, проекций вычисленной абсолютной скорости вращения и ее производной на оси горизонтной системы координат, повернутой по сторонам Света, поступающие в алгоритмы комплексной обработки информации (информационная связь 37);

- значения широты и долготы, а также горизонтальных проекций путевой скорости, необходимые для начальной выставки в алгоритме курсовоздушного счисления (информационная связь 34);

- значения проекций вычисленной абсолютной угловой скорости вращения на оси горизонтной системы координат повернутой по сторонам Света, поступающие в дискретные алгоритмы ориентации БИНС (информационная связь 32).

В блоке **Алгоритмы ориентации БИНС** реализуется дискретный алгоритм ориентации БИНС. На вход алгоритма поступает информация:

- измеренные значения проекций абсолютной угловой скорости вращения ДУСами инерциального блока (информационная связь 20);

- значения дрейфов нулей ДУСов, полученных на этапе предполетной подготовки, и начальных значений углов крена и тангажа (информационная связь 29);

- значения проекций вычисленной абсолютной угловой скорости вращения на оси горизонтной системы координат повернутой по сторонам Света (информационная связь 32);

- оценки погрешностей определения углов ориентации, сдвигов нулей и ошибок масштабных коэффициентов ДУСов, полученные в алгоритмах КОИ (информационная связь 38).

Выходной информацией из алгоритма ориентации являются:

- углы курса, крена и тангажа, поступающие в алгоритмы КОИ и алгоритм курсовоздушного счисления (информационная связь 38);

- углы ориентации, используемые в навигационном алгоритме БИНС.

Блок **Алгоритмы калибровки, начальной выставки БИНС и ГВ** реализует:

- алгоритмы начальной выставки по каналам ориентации БИНС и ГВ, включающие в себя функции оценки дрейфов нулей ДУСов и определение углов крена и тангажа на этапе предполетной подготовки при наличии признака обжатия шасси (информационная связь 21);
- функции ручного ввода начальных условий интегрирования для навигационных алгоритмов БИНС или использование показаний ГНСС приемника по координатам и скоростям (информационная связь 22);
- расчет магнитного склонения на основе вводимой вручную информации о координатах точки старта и текущей даты на этапе предполетной подготовки или на основе информации, поступающей с ГНСС приемника (информационная связь 22);
- алгоритм сбора, синхронизации и выдачи измерений инерциального модуля для задачи калибровки БНК.

Блок **Алгоритм курсовоздушного счисления (КВС)** реализует функции определения навигационных параметров (широты, долготы и горизонтальных проекций путевой скорости) при этом входной информацией блока является:

- истинная воздушная скорость, поступающая с СВС (информационная связь 26);
- значения широты, долготы и горизонтальных проекций путевой скорости, определяемые приемником ГНСС (информационная связь 27);
- углы ориентации БИНС (информационная связь 38);
- широта, долгота и горизонтальные проекции путевой скорости, определяемые навигационным алгоритмом БИНС (информационная связь 34);
- углы тангажа и крена алгоритма ГВ (информационная связь 35);
- оценки погрешностей курсовоздушного счисления координат и гироманитный курс, определяемые алгоритмами КОИ (информационная связь 28).

Выходная информация алгоритма курсовоздушного счисления широта, долгота и горизонтальные проекции путевой скорости (информационные связи 34, 38, 28).

Комплексная обработка информации МБНПК в составе БНК, МК и СВС

С целью минимизации вычислительных затрат и с учетом особенностей микромеханических инерциальных систем алгоритмы КОИ декомпозированы и включают алгоритмы горизонтальных и вертикального каналов. В горизонтальном канале КОИ в качестве входных параметров будет использоваться информация от датчиков и систем о географических координатах (λ - долгота, φ - широта), горизонтальных проекциях путевой

скорости (- восточная, - северная) и углах ориентации (ψ - истинный курс, ϑ - тангаж, γ - крен). В вертикальном – информация о высоте и вертикальной скорости. На рисунке 5 приводится обобщенная схема организации горизонтального канала КОИ. На рисунке 7 – вертикального канала КОИ.

Соответствующие вектора выходных параметров датчиков и систем на рисунке 5 определяются как:

$$\bar{Y}_{\text{БИНС}}^T = \{\lambda_{\text{БИНС}} \quad \varphi_{\text{БИНС}} \quad h_{\text{БИНС}} \quad V_{e\text{БИНС}} \quad V_{n\text{БИНС}} \quad V_{h\text{БИНС}} \quad \psi_{\text{БИНС}} \quad \vartheta_{\text{БИНС}} \quad \gamma_{\text{БИНС}}\};$$

$$\bar{Y}_{\text{СНС}}^T = \{\lambda_{\text{СНС}} \quad \varphi_{\text{СНС}} \quad h_{\text{СНС}} \quad V_{e\text{СНС}} \quad V_{n\text{СНС}} \quad V_{h\text{СНС}}\};$$

$$\bar{Y}_{\text{МК}}^T = \{\psi_{\text{МК}}\};$$

$$\bar{Y}_{\text{КВС}}^T = \{\lambda_{\text{КВС}} \quad \varphi_{\text{КВС}} \quad V_{e\text{КВС}} \quad V_{n\text{КВС}}\}.$$

Вектора измерений, поступающие в алгоритмы оптимальной обработки информации, реализованные на базе фильтра Калмана (ОФК), имеют вид:

$$\bar{Z}_{\text{БИНС/СНС}}^T = \{\lambda_{\text{БИНС}} - \lambda_{\text{СНС}} \quad \varphi_{\text{БИНС}} - \varphi_{\text{СНС}} \quad V_{e\text{БИНС}} - V_{e\text{СНС}} \quad V_{n\text{БИНС}} - V_{n\text{СНС}}\};$$

$$\bar{Z}_{\text{БИНС/МК}}^T = \{\psi_{\text{БИНС}} - \psi_{\text{МК}}\};$$

$$\bar{Z}_{\text{БИНС/КВС}}^T = \{\lambda_{\text{БИНС}} - \lambda_{\text{КВС}} \quad \varphi_{\text{БИНС}} - \varphi_{\text{КВС}} \quad V_{e\text{БИНС}} - V_{e\text{КВС}} \quad V_{n\text{БИНС}} - V_{n\text{КВС}}\};$$

$$\bar{Z}_{\text{КВС/СНС}}^T = \{\lambda_{\text{КВС}} - \lambda_{\text{СНС}} \quad \varphi_{\text{КВС}} - \varphi_{\text{СНС}} \quad V_{e\text{КВС}} - V_{e\text{СНС}} \quad V_{n\text{КВС}} - V_{n\text{СНС}}\}.$$

Горизонтальные каналы реализованы по перестраиваемой адаптивной структуре. При наличии информации от приёмника ГНСС работают три фильтра. Алгоритм ОФК БИНС/СНС предназначен для оценок погрешностей БИНС. С помощью алгоритма ОФК БИНС/МК формируется оценка погрешности определения угла курса и оценка модели погрешности показаний ДУС. Эти два алгоритма ОФК выполнены отдельно и дополняют друг друга в виду того, что погрешности курсового канала БИНС слабо наблюдаемы при использовании классической позиционно-скоростной схемы коррекции от ГНСС. Третий алгоритм ОФК КВС/СНС предназначен для оценки погрешностей курсовоздушного счисления координат. В случае долговременного отсутствия информации о координатах и скоростях от приемника ГНСС исполнение алгоритмов приостанавливается и активируется алгоритм ОФК БИНС/КВС. Этот алгоритм позволяет некоторое время выдерживать достаточную точность определения навигационных параметров в режиме автономной работы комплекса. Время работы алгоритма БИНС/КВС определяется требуемой точностью определения навигационных параметров в автономном режиме. При превышении установленного значения времени автономного счисления и/или при превышении прогнозируемых значений СКО погрешности оценок установленных порогов выполнение

алгоритма ОФК БИНС/КВС приостанавливается, и комплекс переходит в режим работы **Курсовертикаль**.

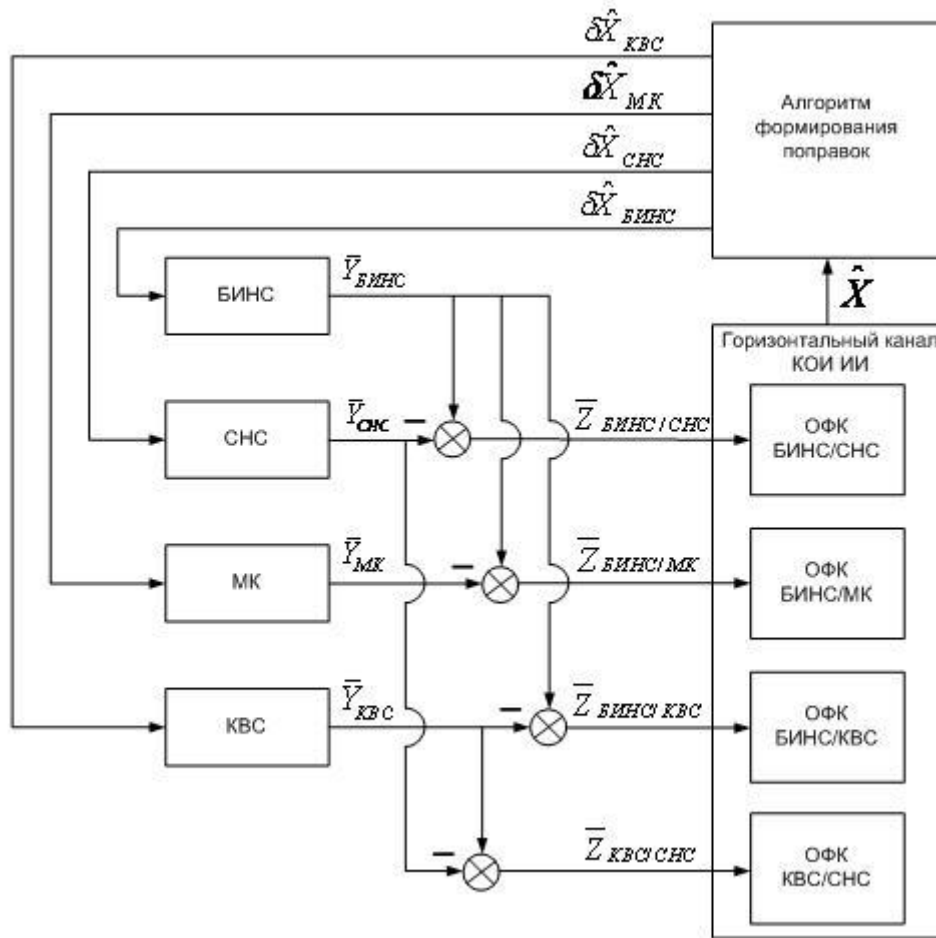


Рисунок 5 – Обобщенная схема горизонтального канала КОИ МБНПК

Вектор выходных параметров барометрического высотного канала формируется как:

$$\bar{Y}_{\text{БВ}}^T = \{h_{\text{БВ}} \quad v_{h_{\text{БВ}}}\}.$$

Вектора измерений при этом имеют вид:

$$\bar{Z}_{\text{БВ/СНС}}^T = \{h_{\text{БВ}} - h_{\text{СНС}} \quad v_{h_{\text{БВ}}} - v_{h_{\text{СНС}}}\};$$

$$\bar{Z}_{\text{БИНС/БВ}}^T = \{h_{\text{БИНС}} - h_{\text{БВ}} \quad v_{h_{\text{БИНС}}} - v_{h_{\text{БВ}}}\}.$$

Вертикальный канал КОИ включает два линейных фильтра (рис. 6). Выбор того или другого ОФК определяется наличием измерений от приемника ГНСС. Алгоритм ОФК БВ/СНС формирует оценку вектора состояния принятой модели погрешности БВ при наличии корректирующей информации от ГНСС. Блок согласования предназначен для приведения высоты выдаваемой БВ к системе координат, используемой в ГНСС приёмнике. В случае долговременного отсутствия информации о высоте и вертикальной скорости от приемника ГНСС работа алгоритма ОФК БВ/СНС приостанавливается и активизируется

выполнение алгоритма ВК БИНС/БВ. Алгоритм ВК БИНС/БВ предназначен для формирования высотно-скоростной информации от БВ сглаженной по измерениям от вертикального канала БИНС.

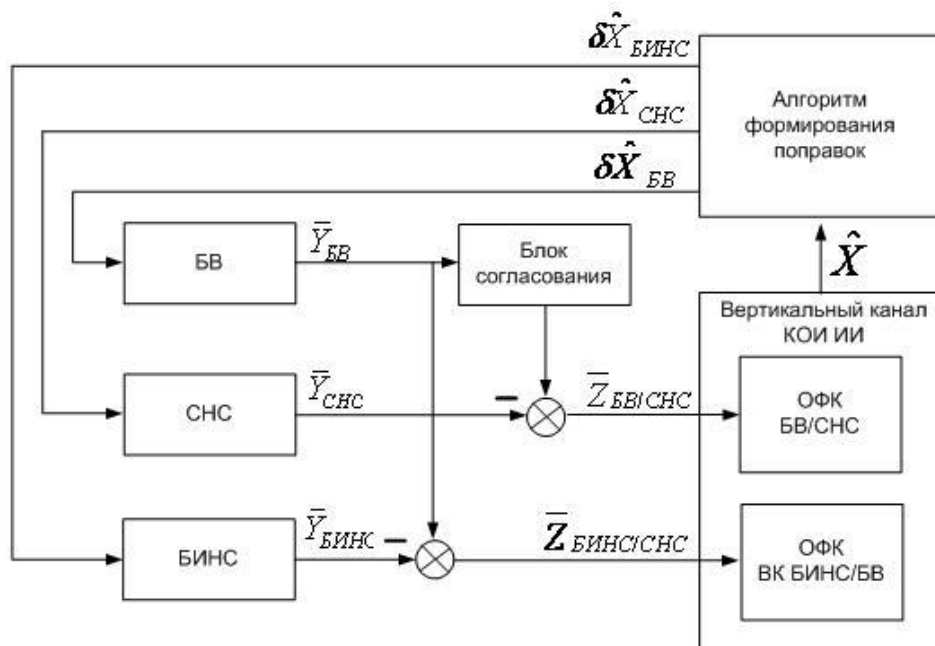


Рисунок 6 – Обобщенная схема вертикального канала КОИ МБНПК

Описанный подход позволяет организовать перестраиваемую структуру алгоритма КОИ МБНПК (рис. 7), адаптирующуюся к условиям работ канала.

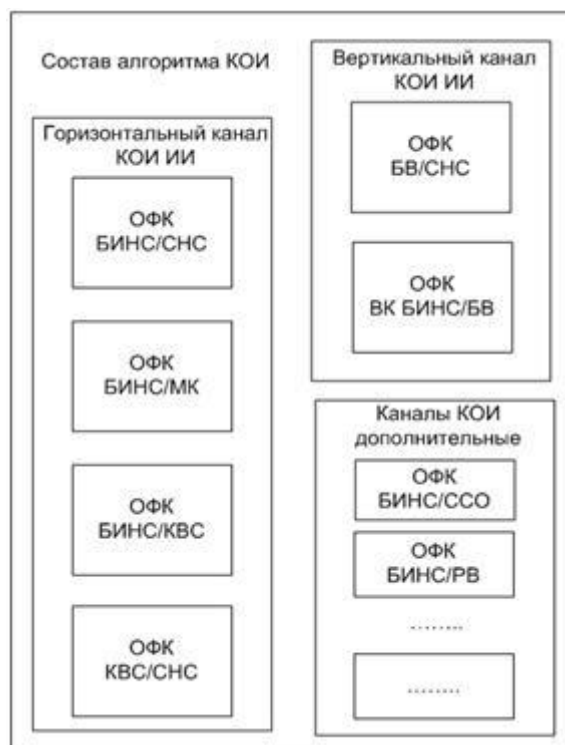


Рисунок 7 – Алгоритмы КОИ МБНПК и возможные дополнительные каналы КОИ

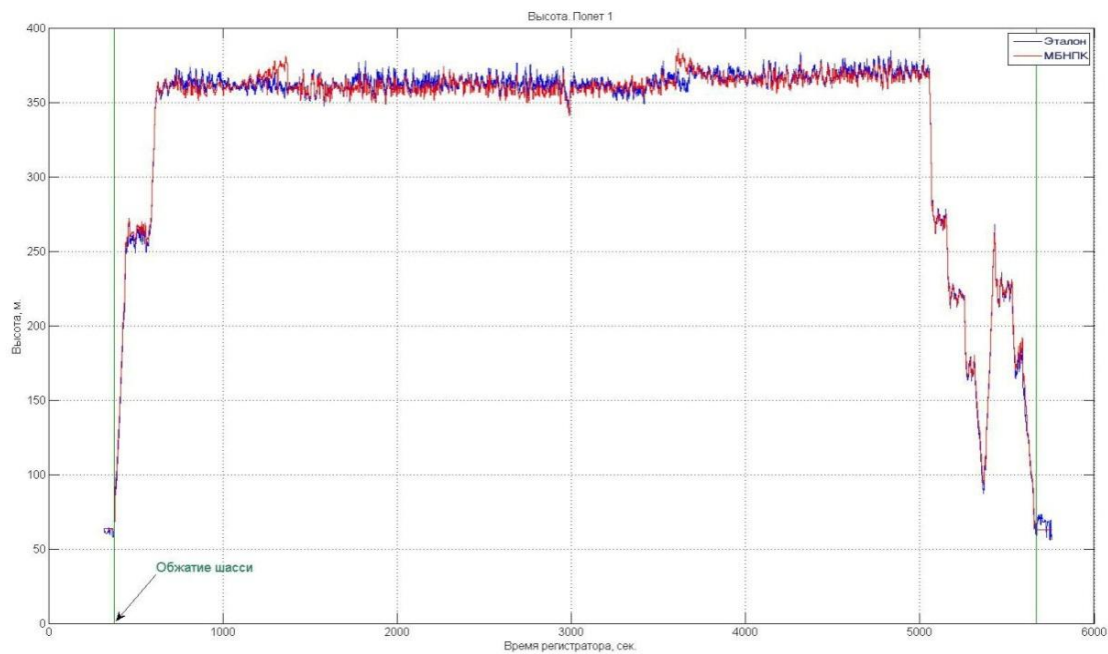


Рисунок 10 – Показания по высоте МБНПК и контрольной системы

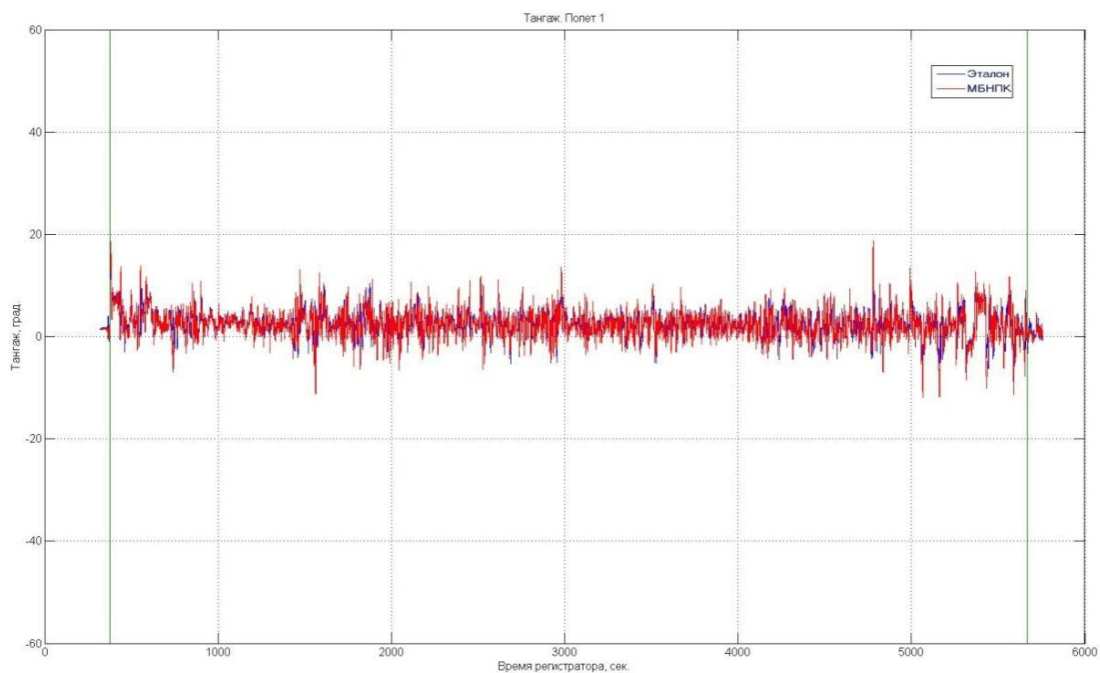


Рисунок 11 – Показания по углу тангажа МБНПК и контрольной системы

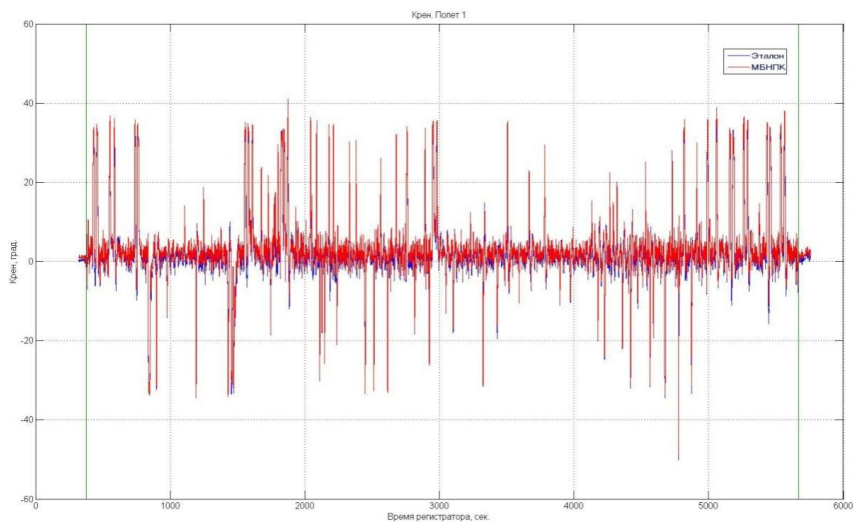


Рисунок 12 – Показания по углу крена МБНПК и контрольной системы

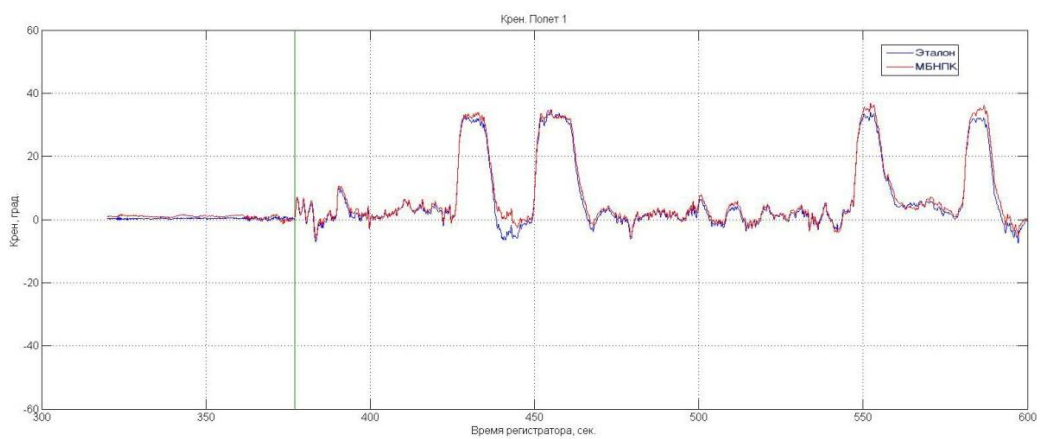


Рисунок 13 – Показания по углу крена МБНПК и контрольной системы (участок)

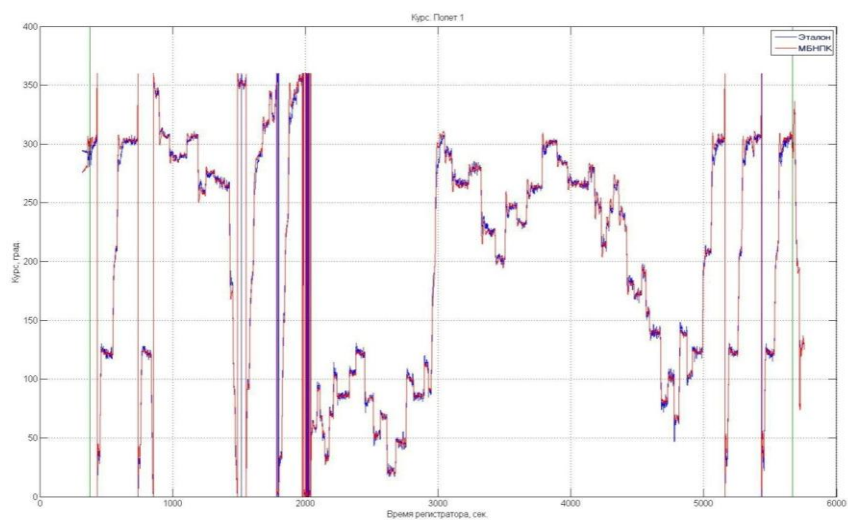


Рисунок 14 – Показания по углу истинного курса МБНПК и контрольной системы

Заключение

Проведенные исследования позволили разработать малогабаритный навигационно-посадочный комплекс, который способен решать всю совокупность задач БПЛА, включая посадку. Гибкость структуры комплекса и возможности ее адаптации к условиям полета и состоянию датчиков позволили получить удовлетворительные характеристики комплекса, которые были подтверждены в ходе летных испытаний.

Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ №11-08-00515-а и ГК Министерства образования и науки РФ № 14.740.11.1231.

Библиографический список

1. URL: http://www.aviatp.ru/docs/polojenie_o_formirovanii_nacplana_19.10.2011.pdf
2. «SMALL-SIZED INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM» Antonov D.A., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Zimin R.Yu., Tchernodoukbov A.Yu. «IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine», 2011. Т. 26. № 3. С. 39-41.
3. Афонин А.А., Веремеенко К.К. и др. «Ориентация и навигация подвижных объектов. Современные информационные технологии»/под ред. Б.С. Алешина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского. – М.: Физматлит, 2006. 422 С.
4. Кузнецов И.М., Пронькин А.Н., Веремеенко К.К. «Малогабаритные интегрированные навигационные модули: алгоритмы и особенности структуры» Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. Т. 104. №3. С. 245-250.
5. Пронькин А. Н., Кузнецов И. М., Веремеенко К. К. «Интегрированная навигационная система БПЛА: структура и исследование характеристик» Труды МАИ. 2010. №41. 14 С.
6. Кузнецов И.М., Пронькин А.Н., Веремеенко К. К. «Навигационный комплекс аэропортового транспортного средства» Труды МАИ. 2011. №47. 16 С.
7. URL: <http://teknol.ru/products/aviation/companav2/>

Авторы:

Алешин Борис Сергеевич, профессор, заведующий кафедрой Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н., МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: 499-158-43-59.

Антонов Дмитрий Александрович, инженер Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499) 158-48-71; e-mail: d_antonov@sitc-mai.ru

Веремеенко Константин Константинович, доцент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), к.т.н.

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499) 158-40-78; e-mail: k_veremeenko@sitc-mai.ru

Жарков Максим Витальевич, старший преподаватель Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499) 158-48-71; e-mail: m_zharkov@sitc-mai.ru.

Зимин Роман Юрьевич, старший научный сотрудник Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499) 158-48-71
e-mail: r_zimin@sitc-mai.ru

Кузнецов Иван Михайлович, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета). МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, тел.: (499) 158-48-71; e-mail: i_kuznetsov@sitc-mai.ru

Пронькин Андрей Николаевич, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета). МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, тел.: (499) 158-48-71; e-mail: a_pronkin@sitc-mai.ru