электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

 # 10, октябрь 2015

УДК 629.058

Исследование алгоритмов коррекции бесплатформенной инерциальной навигационной системы

***Шипитько О. С.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»

Научный руководитель: Микаэльян С.В., ассистент
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Современные бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) обладают высокой точностью определения навигационных параметров движущегося объекта, однако т.к. их принцип их работы состоит в двойном интегрировании ускорения им свойственно накопление ошибки в процессе работы. Как следствие таким системам требуется коррекция, которая может осуществляться разными способами. Коррекция по GPS является простейшим вариантом, однако в условиях боевых действий и радиолокационной борьбы система GPS может давать заведомо ложные показания или быть отключена вовсе. Следовательно, актуальной задачей является создание автономной навигационной системы, объединяющей БИНС и какую-либо другую систему, вносящую корректировки в работу БИНС и работающую не зависимо от внешних факторов, используя информацию о различных физических полях Земли. Такой системой является КЭНС. Геофизическое поле, которое лежит в основе его применения – поле высот рельефа местности (ВРМ). Навигация по ВРМ основана на измерении высоты рельефа местности на борту ЛА и сравнении этих измерений с эталонной информацией о поле. Измерение осуществляется посредством радио - и баровысотомера введенных в состав УАНС.

При подобном объединении систем основанных на разных физических принципах, возникает необходимость комплексной обработки информации. Задачей комплексной обработки навигационной информации является совместная обработка данных навигационного счисления для определения основных навигационных параметров движущегося объекта с максимально возможной точностью. Эта точность зависит от

качества навигационных измерителей (датчиков навигационной информации) и алгоритмов обработки навигационных сигналов.

В связи с этим возникает актуальная задача разработки и моделирования алгоритмов комплексирования разнородных наблюдений спутниковых радионавигационных систем, инерциальных навигационных систем.

В настоящее время известны четыре основных типа схем комплексирования, отличающихся уровнем интеграции [3]:

- раздельная схема;
- слабосвязанная схема
- сильносвязанная схема;
- глубокоинтегрированная схема.

Рассмотрим две первые схемы подробнее.

Самый простой вариант построения комплексированной системы – раздельная схема комплексирования. В этой схеме БИНС и КЭНС независимо друг от друга вырабатывают скорости $V_{БИНС}, V_{КЭНС}$ и координаты местоположения $S_{БИНС}, S_{КЭНС}$ объекта.

Для ограничения роста погрешностей БИНС производится периодический перезапуск алгоритмов БИНС с новыми начальными условиями по скорости и координатам (возможен вариант комплексирования только по координатам), получаемыми от КЭНС. В целом система обладает достаточно высокой точностью и надежностью: выход из строя одного из навигационных измерителей не влечет за собой выход другого навигационного измерителя. Объединение БИНС и КЭНС по этой схеме требует минимальных изменений в аппаратурных средствах и программном обеспечении уже имеющихся на борту систем. Структурная схема раздельной схемы комплексирования представлена на рис. 1.

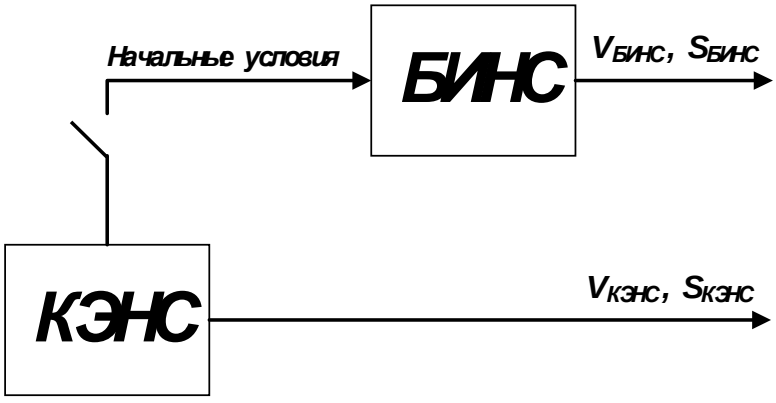

Рис. 1. Раздельная схема комплексирования навигационной информации

Следующая по уровню интеграции – слабосвязанная схема комплексирования, в которой сигналы БИНС и КЭНС объединяются по схеме компенсации. Этот способ основан на формировании разностных измерений сигналов БИНС и КЭНС, согласно которому из рассмотрения исключаются сами навигационные параметры:

$$z_1 = V_{БИНС} - V_{КЭНС} = \Delta V_{БИНС} - \Delta V_{КЭНС},$$
$$z_2 = S_{БИНС} - S_{КЭНС} = \Delta S_{БИНС} - \Delta S_{КЭНС},$$

где z_1, z_2 – составляющие общего вектора измерения z; $V_{БИНС}$, $S_{БИНС}$ - векторы скорости и координат местоположения, выработанные с помощью БИНС; $V_{КЭНС}$, $S_{КЭНС}$ - аналогичны предыдущим векторам, но выработанные КЭНС; $\Delta V_{БИНС}$, $\Delta V_{КЭНС}$, $\Delta S_{БИНС}$, $\Delta S_{КЭНС}$ - векторы погрешностей в определении скорости и координат БИНС и КЭНС.

Таким образом, не требуется статистического описания динамики навигационных параметров. Центральной частью комплексной системы является фильтр Калмана, решающий задачу оценивания по поступающим разностным измерениям. Вопросы разработки такого фильтра рассмотрены в [1, 2, 6, 7]. В фильтре Калмана заложена модель погрешностей БИНС и КЭНС [4, 5], степень подробности которой определяется требованиями к точности вырабатываемых навигационных параметров. В модель погрешностей БИНС включается дрейф гироскопов, смещение нуля акселерометров, а также погрешности в определении координат местоположения, скорости и параметров ориентации. В результате фильтр Калмана формирует оценки погрешностей БИНС в определении скорости $\Delta\hat{V}_{БИНС}$ и координаты $\Delta\hat{S}_{БИНС}$, которые вычитаются из сигналов БИНС. Точность работы всей системы во многом определяется качеством оценок $\Delta\hat{V}_{БИНС}$ и $\Delta\hat{S}_{БИНС}$. Кроме этого, на основе тех же разностных измерений фильтр Калмана формирует оценки погрешностей инерциальных чувствительных элементов: дрейф гироскопов $\hat{\varepsilon}$ и смещение нуля акселерометров $\delta\hat{a}$, которые с целью компенсации поступают в БИНС. В этом случае погрешности гироскопов и акселерометров остаются в линейной области, что позволяет пользоваться линейной моделью погрешностей БИНС. Структурная схема раздельной схемы комплексирования представлена на рис. 2.

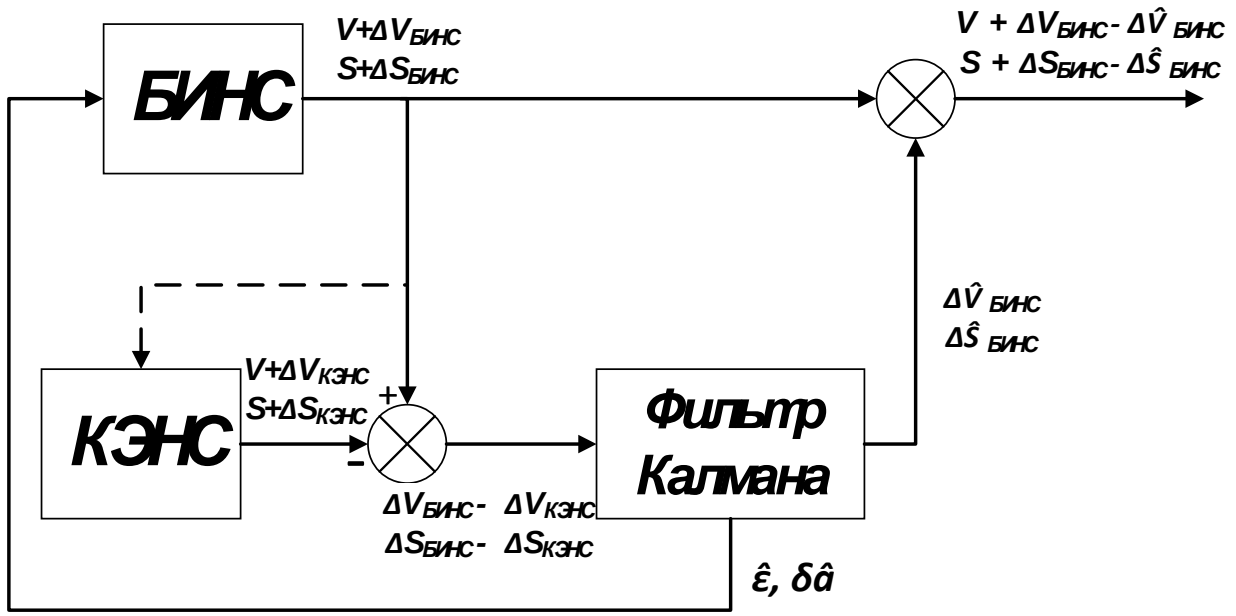

Рис. 2. Слабосвязанная схема комплексирования навигационной информации

Модель КЭНС представлена на рис.3. Время выработки поправок КЭНС принимается равным 30 с.

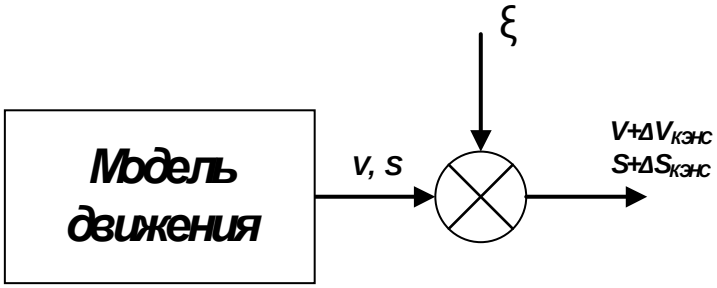

Рис. 3. Модель КЭНС

Для отработки предлагаемых алгоритмов была создана модель, которая формирует реальную траекторию движения объекта. Для удобства исследования системы координаты объекта изменяются по гармоническим законам, что позволяет задавать замкнутые траектории движения и моделировать любую длительность полета.

Модель движения задается следующими формулами:

$$\begin{cases} p\omega = \dfrac{2\pi}{pT} - \textit{вектор угловых частот}; \\ si = \sin(p\omega \cdot t + pF); \\ co = \cos(p\omega \cdot t + pF); \\ r_e = pA \cdot si - \textit{вектор координат объекта}; \\ v_e = p\omega \cdot pA \cdot co - \textit{вектор скоростей объекта}; \\ a_e = -p\omega^2 \cdot pA \cdot co - \textit{вектор ускорений объекта}. \end{cases},$$

где pA и pF - векторы - столбцы констант. Результаты моделирования алгоритмов комплексирования представлены на рис.4 - рис.7.

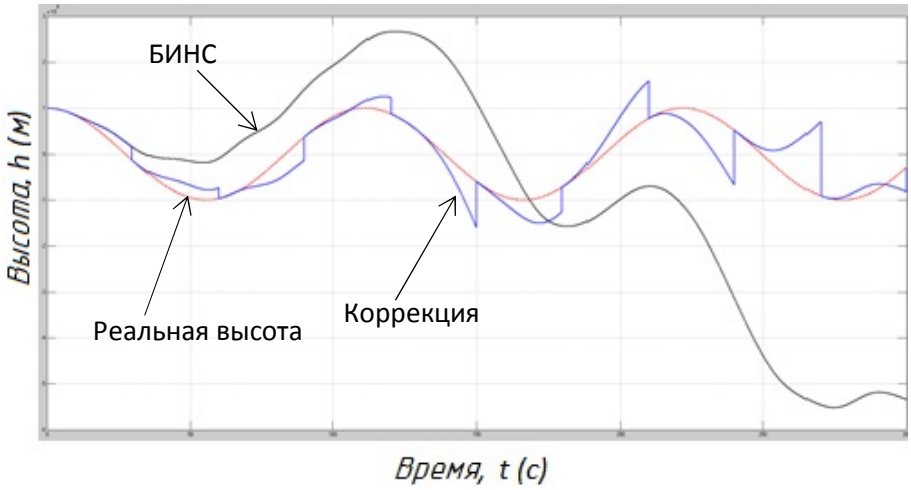

Рис. 4. Коррекция по высоте за время полета $t = 300\,c$ при раздельной схеме коррекции

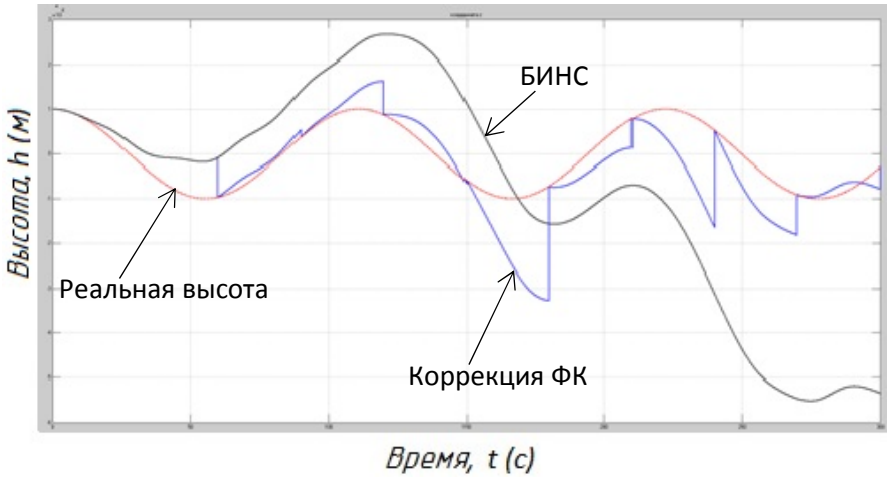

Рис. 5. Коррекция по высоте за время полета $t = 300\,c$ при слабосвязанной схеме коррекции

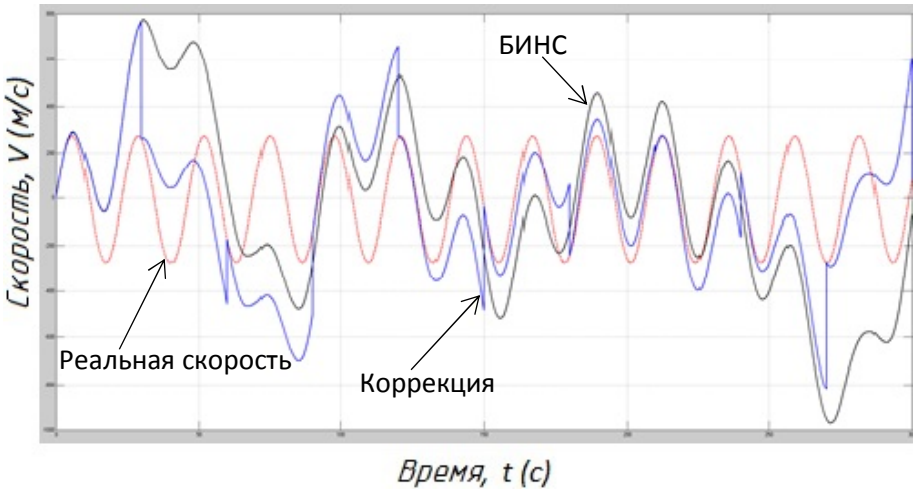

Рис. 6. Коррекция по скорости за время полета $t = 300\,c$ при слабосвязанной схеме коррекции

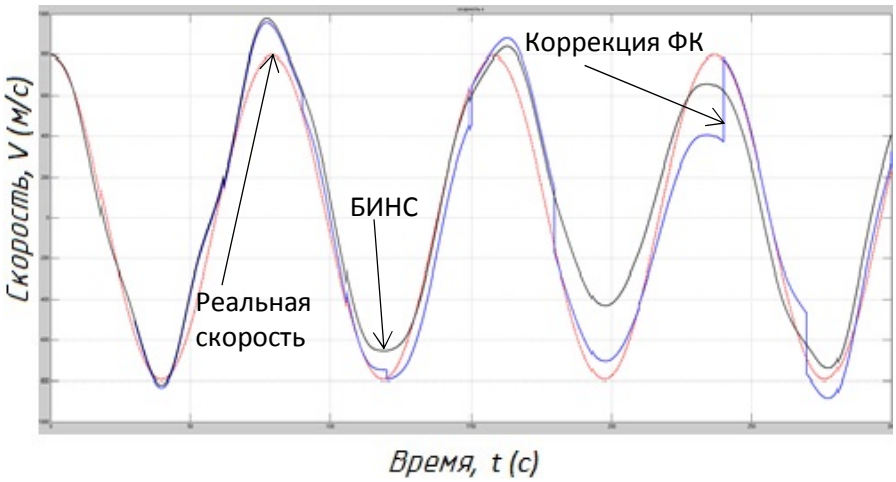

Рис. 7. Коррекция по скорости за время полета $t = 300\,c$ при слабосвязанной схеме коррекции

По результатам моделирования были сделаны следующие выводы:

- Ошибки определения навигационных параметров КЭНС вносят очень незначительный вклад в результирующую ошибку системы;
- При увеличении частоты коррекции с 0.03 Гц (раз в 30 с) до 0.2 Гц (раз в 5 с) ошибка уменьшается на 2 порядка;
- Коррекция по разомкнутой схеме по координатам и скоростям не дает видимого выигрыша по сравнению с комплексирование только по координатам при данных параметрах системы и позволяет увеличить точность определения координат на порядок;
- Коррекция по разомкнутой схеме не позволяет увеличить точность определения скоростей системой;

- Результаты моделирования алгоритма коррекции с цифровым фильтром Калмана показывают, что фильтр успешно вырабатывает поправки навигационной информации, и оценивает величины погрешностей, но точность этих оценок не соответствует теоретически возможной и ухудшается со временем работы системы. Для увеличения точности оценок необходимо либо использовать более точные навигационные измерители, либо проводить коррекцию с большей частотой.

Список литературы

1. Астапов Ю.М., Борзов А.Б., Евремов А.К. Автономные информационные и управляющие системы. В 4 т. Т. 3. / под ред. А.Б. Борзова. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011. 528 с.
2. Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике. 2-е изд., испр. и дополн. В 2 ч. Ч. 1. Линейные системы. М.: Радио и связь, 2002. 568 с.: ил
3. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280с.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432с.
5. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: учебное пособие. Кировоград: Полимед -сервис, 2011. 171с.
6. Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике. В 2 т. Т. 2. Нелинейные преобразования. М.: Гелиос АРВ, 2006. 448 с.: ил
7. Микаэльян С.В. Методы фильтрации на основе многоточечной аппроксимации плотности вероятности оценки в задаче определения параметров движения цели при помощи измерителя с нелинейной характеристикой // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. №10. Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/504883.html (дата обращения 31.05.2015)
8. Сидоркина Ю.А., Никифоров А.А., Шахтарин Б.И. Алгоритм оценки параметров широкополосного сигнала на ограниченном интервале наблюдения // Научный вестник Московского государственного университета гражданской авиации. 2014. № 210. С. 76-82.