

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамм И. Е. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1966.
2. Васюков С. А., Дробышев Г. Ф. Математическая модель цилиндрического электростатического подвеса как системы заряженных проводников // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. “Естественные науки”. – 2007. – № 1. – С. 72–87.
3. Васюков С. А., Дробышев Г. Ф. Алгоритмы управления потенциалами на электродах электростатического подвеса // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. “Приборостроение”. – 2007. – № 2. – С. 69–81.

Статья поступила в редакцию 3.10.2006

УДК 681.7:528.022.62

С. А. Болотнов, Н. М. Вереникина,
А. А. Алексейченко

БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ЛАЗЕРНЫХ ГИРОСКОПАХ

Описана бесплатформенная инерциальная навигационная система на лазерных гироскопах, разработанная в НПК “Электрооптика”. Система построена на отечественных элементах и изготовлена на отечественной технологической базе. Приведены основные технические характеристики экспериментальных образцов системы.

Целесообразность разработки новых высокоточных бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) диктуется необходимостью повышения точности управления объектами в условиях возможного отсутствия информации по каналам спутниковых навигационных систем (СНС), а также необходимостью автономного определения параметров угловой ориентации, угловых и линейных скоростей объекта.

В настоящей статье рассмотрена разработанная в НПК “Электрооптика” БИНС на лазерных гироскопах (ЛГ) и кварцевых акселерометрах.

Основными структурными элементами БИНС являются (рис. 1):

- гиरोинерциальный измерительный блок (ГИБ);
- блок вычислителя.

Гиरोинерциальный измерительный блок включает в себя основание, лазерные гироскопы, акселерометры, вторичные источники питания и платы электроники, обеспечивающей функционирование датчиков и первичное преобразование сигналов с гироскопов и акселерометров. Первичное преобразование сигналов с основных чувствительных элементов в частотную форму и передача их в таком виде между

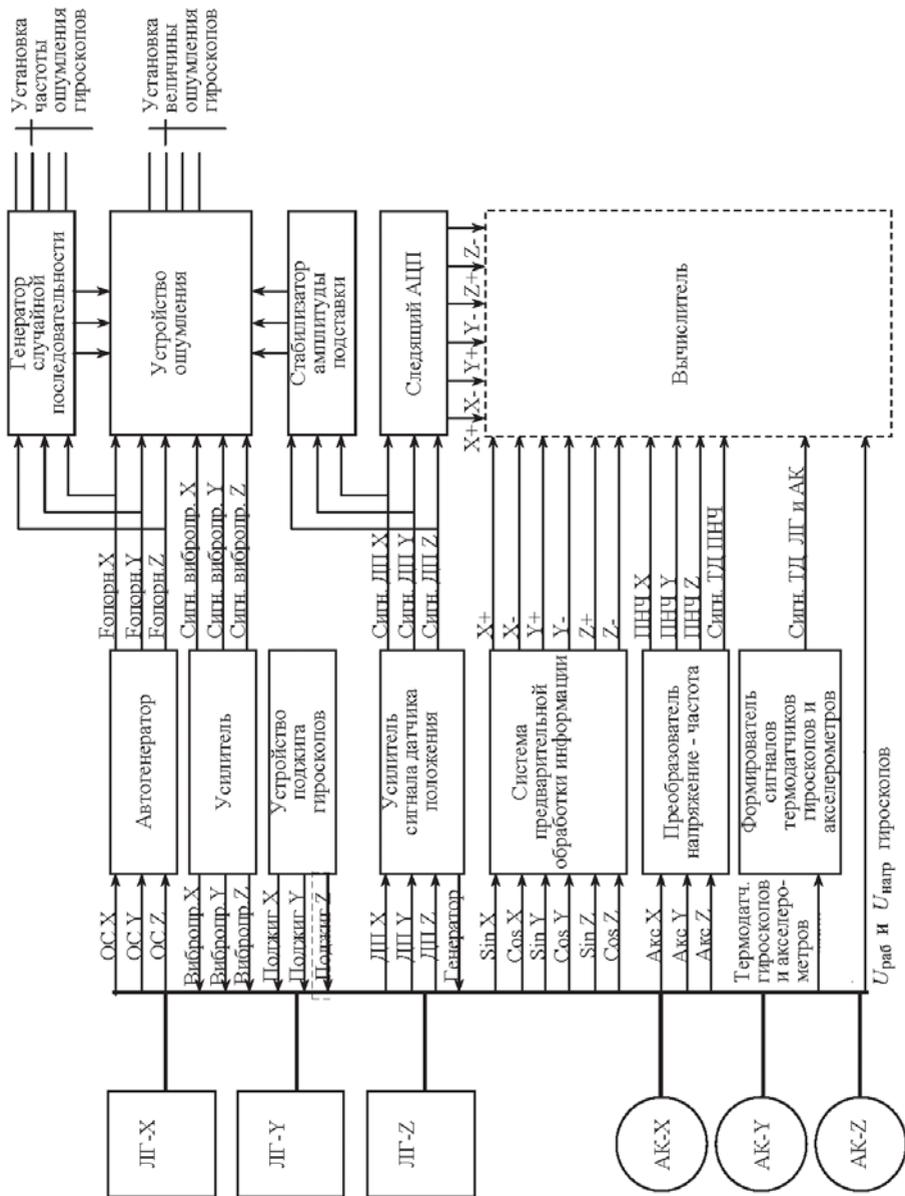


Рис. 1. Структурная схема макетного образца

ГИБ и блоком вычислителя обеспечивают высокую помехозащищенность тракта передачи.

Блок вычислителя осуществляет связь с блоком чувствительных элементов, обработку информации с датчиков, связь с потребителем и внешними датчиками навигационной информации. Установленное программное обеспечение реализует различные режимы работы системы.

Система строится по схеме инерциальной навигационной системы аналитического типа, комплексированной со спутниковой навигационной системой.

Циклограмма работы навигационного программного обеспечения показана на рис. 2.

Погрешности датчиков системы (акселерометров и датчиков угловой скорости) условно разделяются на “неноль”, “нелинейность” (ошибка масштабного коэффициента) и “неортогональность” (отклонение оси чувствительности датчика от осей ортогонального базиса связанной с БИНС системы координат — перекосы).

Указанные погрешности (точнее их составляющие, стабильные во всех включениях) определяются как функции температуры во время проведения паспортизации системы и используются для коррекции измерений датчиков.

Во время калибровки системы определяются перекосы осей чувствительности датчиков и уточняются значения масштабных коэффициентов и смещения нулей.

Данные с датчиков первичной информации поступают на вход вычислителя, где реализуются алгоритмы компенсации первичных данных на основе паспортных значений коэффициентов и показаний термодатчиков (ТД).

В зависимости от режима работы скомпенсированные данные обрабатываются в вычислительном устройстве по алгоритмам выставки и навигации.

Основными вариантами проведения начальной выставки являются следующие:

- автономная выставка на неподвижном объекте и подвижном основании;
- выставка на подвижном объекте и подвижном основании с использованием внешней информации.

В программном обеспечении системы предусмотрена возможность использования обоих вариантов начальной выставки.

К первому варианту относится выставка на наземных объектах и летательных аппаратах, стартующих с Земли, неподвижных во время выставки, но подверженных действию внешних возмущений (качка,

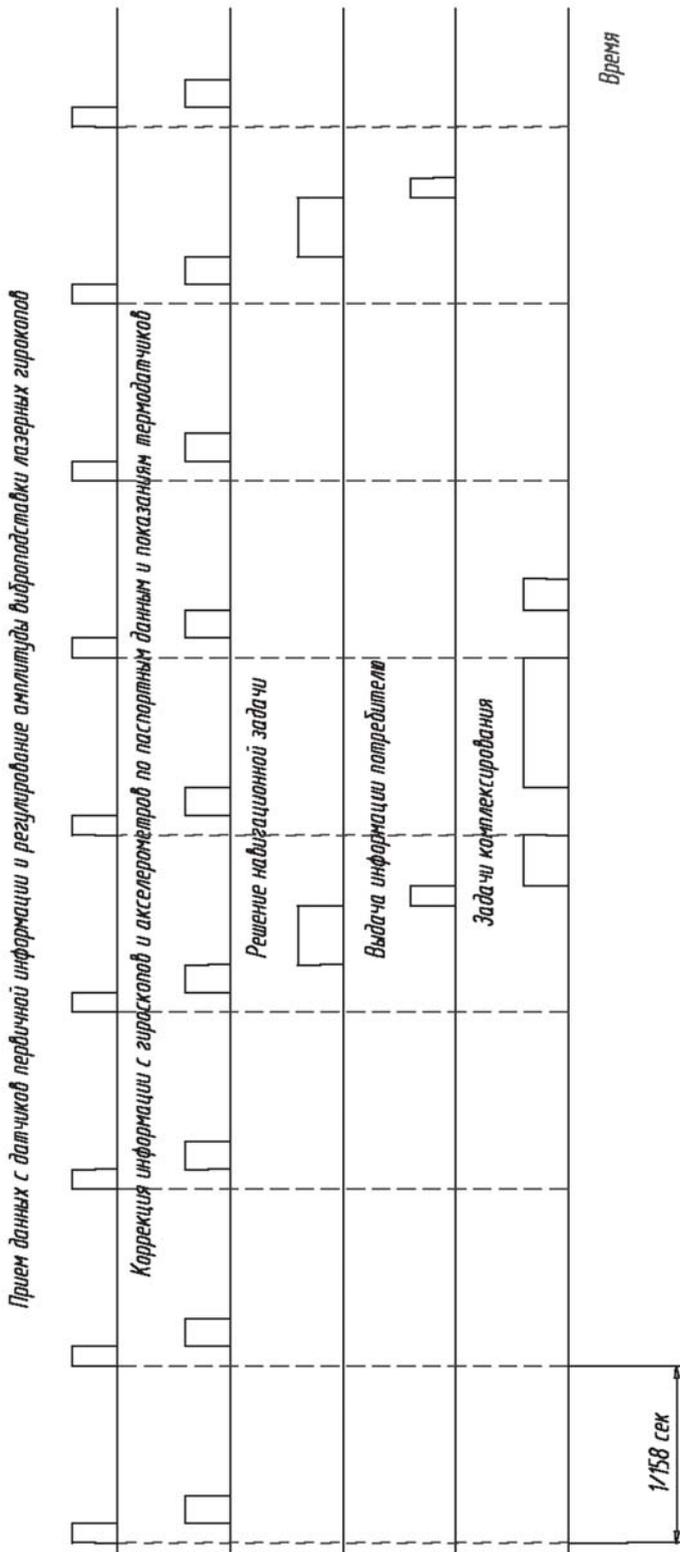


Рис. 2. Циклограмма работы навигационного программного обеспечения

вибрации и т.д.). Начальная выставка в этом случае производится в два этапа: грубая и точная.

Грубая выставка заключается в ориентировочном (с точностью до единиц и десятков градусов) определении положения связанной с БИНС системы координат относительно географической системы координат. Это необходимо для нормального функционирования алгоритмов точной выставки, которые синтезируются для линейной модели ошибок.

Задачу точной выставки решают методом комплексирования БИНС с внешним источником информации, в качестве которого используется гипотеза о нулевой средней скорости на старте.

Точность выставки определяется, прежде всего, погрешностью датчиков макета (ненулевым сигналом и неортогональностью установки). Наибольшее время (от 3 до 10 мин) занимает гирокомпасирование ввиду необходимости подавления шумов датчиков угловой скорости.

В режиме навигации при поступлении информации от внешних датчиков выполняются алгоритмы комплексирования, которые корректируют вынесенное навигационное определение.

Алгоритмы ориентации и навигации состоят из двух основных частей:

- алгоритмов коррекции измерений датчиков в соответствии с паспортными значениями;
- алгоритмов интегрирования скорректированных измерений и вычисления, таким образом, навигационного определения.

При синтезе алгоритмов фильтрации и анализе точности системы погрешности датчиков считаются случайными гауссовыми величинами с нулевым математическим ожиданием, постоянными в каждой реализации. Исключением является модель нулевого сигнала ЛГ, представляемого марковским процессом первого порядка, постоянная времени которого определяется путем соответствующей обработки результатов специальных экспериментов.

Описанные алгоритмы лежат в основе работы БИНС-Л (рис. 3), выполненной на базе трех лазерных гироскопов ГЛ-2 (рис. 4), подробно описанных в работе [1], и трех маятниковых кварцевых акселерометров ВА-2 (рис. 5) компенсационного типа, разработанных в НПК “Электрооптика”. Данные акселерометры не требуют термостабилизации в диапазоне температур $(-55 \dots +70)^\circ\text{C}$ и имеют стабильность масштабного коэффициента и сдвига нуля на уровне $5 \cdot 10^{-5}$.

Основные характеристики БИНС-Л представлены ниже [2].



Рис. 3. БИНС-Л

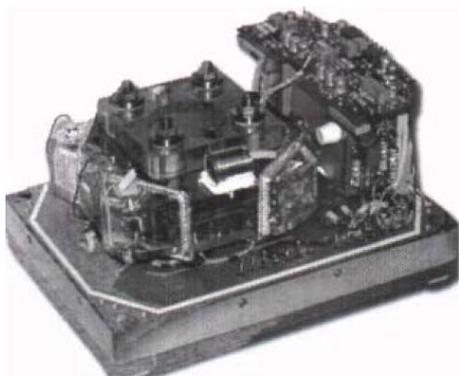


Рис. 4. Прибор ГЛ-2

Техническая характеристика БИНС-Л

Погрешность определения координат (φ, λ) за любой час работы системы в автономном режиме ($1\sigma_x, 1\sigma_y$), км...	1,85
Погрешность определения в режиме автономной выставки (за 10 мин), угл. мин:	
курса (1σ)	2... 3
крена, тангажа (1σ)	1... 2
Дрейф углов азимута, крена и тангажа (за 1 ч работы) (1σ), угл. мин	1
Погрешность определения скоростей (за 1 ч работы) (1σ), м/с	1
Диапазон измеряемых углов	$\pm 360^\circ$
Диапазон измеряемых скоростей, град/с	до ± 300
Диапазон измеряемых ускорений	до $\pm 25g$
Время непрерывной работы	до 10 ч
Масса, кг	18
Габаритные размеры, мм	200×200×400

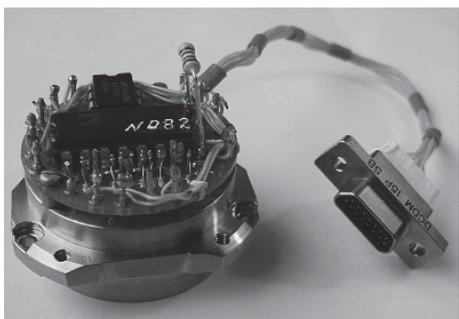


Рис. 5. Прибор ВА-2

Данные точностные параметры БИНС получены после калибровки чувствительных элементов (ЧЭ) в составе системы, после проведения которой определяются масштабные коэффициенты, сдвиги нуля и взаимные перекосы осей чувствительности ЧЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакин Ю. Б., Болотнов С. А., Людомирский М. Б., Алексейченко А. А. Лазерные гироскопы с призмами полного внутреннего отражения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. – 2007. – № 1. – С. 97–104.
2. Р е к л а м н ы й п р о с п е к т О А О “Р П З”

Статья поступила в редакцию 27.06.2006

Сергей Альбертович Болотнов родился в 1961 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1984 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 работ в области лазерной физики и техники.



S.A. Bolotnov (b.1961) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1984. Ph. D. (Eng.), assoc. professor at “Laser, Optical and Electronic Systems” Department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of laser physics and technology.

Нина Михайловна Вереникина родилась в 1947 г., окончила МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1971 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана, член Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. Имеет более 100 научных работ и более 10 изобретений в области лазерной техники.



N.M. Verenikina (b.1947) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1971. Ph. D. (Eng.), assoc. professor at “Laser, Optical and Electronic Systems” Department of the Bauman Moscow State Technical University, member of Russian Optical Society n.a. D.S. Rozhdestvensky. Author of more than 100 publications and 10 inventions in the field of laser technology.

Андрей Александрович Алексейченко родился в 1978 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2002 г. Аспирант кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 5 научных работ в области лазерной техники.



A.A. Alekseitchenko (b.1978) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2002. Post-graduate student at “Laser, Optical and Electronic Systems” Department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 5 publications in the field of laser technology.