РАЗДЕЛ X. РАДИОТЕХНИКА

Болотнов А.С., Икренников М.С., Прокудин В.Н.

Структура жизненного цикла инерциальных навигационных систем

МГТУ им. Н.Э. Баумана

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-04-2021-30

Аннотация

Системой управления многочисленных мобильных объектов являются инерциальные навигационные системы (ИНС). ИНС являются полностью помехозащищенными, а их функционирование не демаскирует мобильный объект. Текущие навигационные данные с помощью ИНС определяются непрерывно и в режиме реального времени. Указанные достоинства сделали эти системы основой навигационного оборудования современных мобильных объектов как военного, так и гражданского применения. Описание жизненного цикла ИНС демонстрирует основные их тенденции развития.

Ключевые слова: инерциальные навигационные системы, датчики угловой скорости, жизненный цикл, навигация, прецизионные приборы

Abstract

The control system of numerous mobile objects is inertial navigation systems (INS). ANNs are completely noise-immune, and their operation does not unmask the mobile object. The current navigation data using the ANN is determined continuously and in real time. These advantages made these systems the basis of navigation equipment for modern mobile objects of both military and civilian use. The description of the ANN life cycle demonstrates their main development trends.

Keywords: inertial navigation systems, yaw rate sensors, laser strapdown inertial systems, life cycle, navigation, precision instruments

Структура этапов жизненного цикла разных изделий распределяется крайне неравномерно. В зависимости от сложности конструктива и применяемых технологий соотношение стоимости и продолжительности этапов разработки, производства и эксплуатации могут меняться даже не в разы, а на порядки. На примере разработки и производства прецизионных серийных бесплатформенных навигационных систем (БИНС) [1] покажем, какое место в жизненном цикле сложной высокотехнологичной продукции занимают этапы научной и инженерной проработки.

В конце 80-х годов на одной из приборостроительных кафедр МГТУ им. Н.Э. Баумана образовался небольшой коллектив разработчиков кольцевых лазерных гироскопов (КЛГ) [2], который лег в основу будущего предприятия по разработке и производству прецизионных лазерных бесплатформенных инерциальных систем навигации, базовых элементов и оригинального программного обеспечения к ним. К началу 90-х был выпущен оригинальный лазерный гироскоп, который явился базовым элементом для бортовой инерциальной системы гражданских самолетов ТУ-204 и ИЛ-96-300, а также путеизмерительных вагонов.

Практика работы в области инерциальной навигации показала, что разработка и выпуск оригинальных БИНС затруднительны без собственного производства второго

ключевого чувствительного элемента системы – акселерометра. Поэтому, в начале 2000-х годов предприятием был разработан и освоен в серийном производстве кварцевый акселерометр серийного производства. На базе чувствительных элементов собственного производства были разработаны и внедрены в производство БИНС нового поколения. Дальнейшее совершенствование БИНС шло не столько в направлении повышения точности, сколько в направлении дальнейшего увеличения жизненного цикла изделия, улучшения эксплуатационных характеристик и снижения стоимости.

Выпуская серийную продукцию прецизионного класса точности, предприятие за счет собственных средств оснащалось парком необходимого лабораторного и испытательного оборудования для разработки и изготовления чувствительных элементов и изделий на их основе, а также, проведения необходимого комплекса автономных испытаний.

В 2010 – 2012 годах предприятием было введено в эксплуатацию порядка 1000 метров производственных площадей помещений чистовой сборки, разработанных по индивидуальному проекту. Это позволило довести уровень годового выпуска разработанных навигационных систем до 50 комплектов в год, на собственной базе проводить НИОКР с полным циклом необходимых испытаний, включая государственные, и осуществлять гарантийное и послегарантийное обслуживание своих изделий. В итоге, производство ключевых элементов, сборка и регулировка всех систем осуществляется собственными силами, что позволяет обеспечить надежность систем в эксплуатации и качество гарантийного обслуживания. Все инерциальные системы разработаны на базе современной интегральной электроники, что повышает их надежность, удобство в обслуживании и эксплуатации.

В настоящее время серийные изделия производства указанного предприятия используются на мобильных объектах 1, 2 и 3 групп применения согласно ГОСТ РВ 20.39.304-1998. Реализация всей специфики жизненного цикла изделия, а конкретно, разработка, освоение, выпуск и сопровождение у заказчика изделия новой техники с обеспечением высокого качества происходит за счет:

- применения автоматизированных способов разработки конструкторской и технологической документации, а также проектирования оснастки на базе САПР;
- применения методов математического моделирования температурных и силовых воздействий при проектировании изделий лазерной техники и точной механики;
- постоянной модернизации номенклатуры применяемых изделий и продуктов программного обеспечения;
- оригинальной базы данных по хранению информации и отслеживанию изменений в документации по мере ее создания;
- 100% входного контроля применяемых материалов, в том числе и методами спектрального анализа;
- 100% ступенчатого выходного контроля наиболее важных оптических деталей (отражатели резонаторов гироскопов, моноблоки, пластины для акселерометров);
- 100% выходного контроля комплектующих деталей и сборок [3].

Результаты разработок предприятия за последние 15 лет сведены в приведенный график:

Из графика очевидно, что с точки зрения единства основных требований по энергопотреблению, времени готовности, массогабаритных показателей, стойкости к внешним воздействиям, стоимостным показателям, а также точностных показателей, актуальна разработка унифицированной аппаратуры БИНС межвидового применения. Такой подход позволит упростить конструкторское и технологическое сопровождение разработки и производства, что в конечном случае позволит увеличить жизненный цикл изделия при меньших экономических затратах.

Рассмотрим среднестатистические соотношения затрат на всех стадиях жизненного цикла разработки унифицированной БИНС. Опираясь на практический опыт, а также на ряд реальных государственных контрактов, будем считать, что существует заказ на 100 систем с поставкой ежегодно по 10 комплектов. Срок эксплуатации в составе объекта составляет 10 лет. Тогда отталкиваясь от условной стоимости системы, которую мы примем за единицу, сведем стоимостные затраты и время длительности этапов жизненного цикла в таблицу:

	Стадия жизненного цикла	Затраты на 1 ед.	Длительность этапа (года)
1	Подготовительный (предконтрактный) период	1	1
2	НИР (с учетом задела)	5 - 8	2
3	ОКР	8 - 10	3
4	Стоимость одного изделия	1	0,5
5	Эксплуатация в составе объекта	0,1	10
6	Утилизация	-	-

Исходя из требований ГОСТ 15.203- 2001, регламентирующий этапы проведения ОКР, затраты по стоимости и длительности каждого из этапов ОКР от общей стоимости распределятся примерно в соотношении

	Стадия жизненного цикла этапа ОКР	Затраты, %	Длительность этапа (м-ц)
1	Разработка эскизного и технического проекта	5	5
2	Разработка конструкторской документации	5	6
3	Изготовление первого опытного образца, проведение предварительных испытаний, присвоение изделию литеры «О». Корректировка КД. Доработка опытного образца.	30	7

4	Изготовление второго опытного образца. Проведение межведомственных испытаний. Корректировка КД. Доработка опытных образцов.	30	7
5	Проведение Государственных испытаний	20	8
6	Корректировка КД по итогам ГИ для организации серийного производства. Доработка опытных образцов по результатам ГИ.	5	2
7	Проведение межведомственной комиссии, присвоение изделию литеры «О1»	5	1

Из таблиц видно, что для высокотехнологичных изделий, каким является лазерная БИНС, научно-исследовательская и опытно-конструкторская проработка изделия по времени соизмерима со сроком службы изделия, то есть составляет примерно половину жизненного цикла изделия. Если считать норматив прибыли 20%, а именно такой уровень прибыли согласует Заказчик, то окупаемость проекта наступает примерно на сотом изделии. Приведенный контракт получается не прибыльным, но и не убыточным. Однако, проведя небольшие доработки, и заключив контракт на поставку разработанного БИНС на аналогичный объект, предприятие не только окупит разработку, но и получит прибыль для дальнейшего развития.

1. Болотнов А.С. Применение лазерного гироскопа в бесплатформенных инерциальных системах. Политехнический молодежный журнал, 2019, № 10(39).
2. Лазерные гироскопы ГЛ-1Д, ГЛ-2Д, ГЛ-18. electrooptika.ru: веб-сайт. URL: <http://www.electrooptika.ru/index.php/produktsiya/bazovye-elementy> (дата обращения: 24.02.2021).
3. Прокудин В.Н., Манушина А.Е., Уфимцев Е.К. Использование подхода жизненного цикла информационного ракетно-космического комплекса в реализации масштабных проектов перестройки ракетно-космической отрасли // Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Россия, Москва 6 октября 2020 г.

Крутских В.В., Мирзоян А.Э., Ушков А.С.

Устройства поворота на полужкранированных диэлектрических волноводах

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет "МЭИ"

АО "НПК"СПП"

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-04-2021-31

Аннотация

В статье приводятся результаты исследования конструкций устройств поворота на полужкранированном диэлектрическом волноводе для топологического (в плоскости пластин) и нормального (в плоскости перпендикулярной плоскости пластин) устройства. Эта задача сформирована потребностью создания различных устройств в том числе антенных с сложной формой поверхности. Для решения задачи применялись в основном методы физического и численного моделирования, проверялись физическим экспериментом. Было показано, что нормальный изгиб в отличие от топологического даже на малых радиусах имеет малые потери на излучение и отражение.

Ключевые слова: Полужкранированный диэлектрический волновод, устройства поворота, NRD-waveguide, диэлектрический волновод

Abstract

The article presents the results of a study of the designs of turning devices on a semi-shielded dielectric waveguide for the topological (in the plane of the plates) and normal (in the plane perpendicular to the plane of the plates) devices. This task is formed by the need to