

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА

К.т.н. О.Н.Замирец<sup>1</sup>, Я.О. Замирец<sup>2</sup>

1. Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, г.Харьков

2. Национальный аэрокосмический университет им.Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный институт», г.Харьков

*Статья посвящена одной из актуальных групп вопросов в области ориентации космических аппаратов дистанционного зондирования земли. А именно, вопросам, возникающим при решении задач, связанных с определением положения в пространстве и вычисления угловых скоростей информационно-управляющей системой созданной на основе бесплатформенного инерциального блока. Определены структура и требования к оптическим каналам датчиков звезд.*

*Статья присвячена одній актуальній групі питань в області орієнтації космічних апаратів дистанційного зондування землі. А саме, питанням виникаючим при вирішенні задач пов'язаних з визначенням положення в просторі та обчислення кутової швидкості інформаційно управляючою системою, створеною на основі бесплатформеного інерціального блоку. Визначені структура та вимоги до оптичних каналів датчиків зірок.*

*The article covers one of the actual groups of questions for remote sensing satellites' orientation. Namely, questions that appear for solving problems related to location definition in the space and for calculation the angular velocity of information-guidance system created based on unplatformed inertial block. The structure and requirements for optical channels of stellar sensor have been defined.*

**Ключевые слова:** информационно-управляющая система, бесплатформенный инерциальный блок, бортовой комплекс управления

## Введение

Логика построения информационно-управляющей системы (ИУС) для ориентации космического аппарата основана на законах интеллектуальных исследований познавательной деятельности, формализуемых с помощью логического языка. Логика базируется на доказательствах из знаний полученных ранее, служит одним из основных инструментов построения математических методов, моделей и информационных технологий.

Логика дает возможность исследовать и классифицировать структуры утверждений, аргументов и описывает схемы их конфигураций.

Предметное исследование логики функционирования и построения ИУС, может быть проведено в широком диапазоне по всему жизненному

циклу изделия с оценкой достоверности и вероятностных характеристик.

Логика построения ИУС включает этапы:

- анализ построения и функционирования структурной схемы ИУС;
- анализ технических требований к логике управления функционированием ИУС;
- принципы построения архитектуры;
- определение параметров, критериев и методов управления функционированием ИУС;
- синтез логики управления функционированием ИУС;
- описание логики управления функционирования ИУС.

## Анализ построения и функционирования структурной схемы информационной управляющей системы ориентации КА.

Функциональные возможности космических аппаратов существенно зависят от качества, готовности и надежности информационно-управляющих систем, которые в силу специфики их применения еще называют бортовыми комплексами управления (БКУ). Информационно-управляющая система представляет собой совокупность приборов и устройств с информационным и программным обеспечением, предназначенным для управления движением космического аппарата и управления функционированием бортового оборудования [1]. Эта система решает множество задач, которые можно разбить на четыре группы (рис. 1):

- управление движением КА и навигация;
- командно-логическое управление состоянием бортовой аппаратуры;
- взаимодействие с наземным комплексом управления (НКУ), экипажем и испытательными системами;
- управление элементами конструкции КА.

Важной составной частью БКУ является бесплатформенный инерциальный блок (БИБ), который содержит звездный датчик и предназначен для формирования информации об угловых координатах звезд, находящихся в поле зрения оптического канала.



Рис. 1. Основные задачи бортового комплекса управления космическим аппаратом

Бесплатформенный инерциальный блок предназначен для решения следующих функциональных задач:

- формирование информации об угловых координатах звезд, находящихся в поле зрения каждого из оптических каналов (ОК) и передача указанной информации в вычислитель основного или резервного канала (СВ-О или СВ-Р) БИБ;
- управление устройствами прибора для обеспечения его функционирования;
- контроль функционирования составных частей прибора и формирование донесений об их техническом состоянии;
- формирование и выдача в систему телеметрического контроля параметров, позволяющих оценить правильность функционирования прибора;
- выдача признака засветки при попадании в поле зрения ОК источника засветки и его идентификация (Солнце, Луна, Земля);
- обеспечение информационного обмена между прибором и СВ-О, СВ-Р БИБ;
- прием из СВ-О или СВ-Р БИБ данных полетного задания (ПЗ) и команд управления режимами работы прибора;
- прием из СВ-О или СВ-Р БИБ массивов корректировки и замены программного обеспечения оптического звездного датчика;
- формирование технологической выходной информации по команде, выдаваемой из СВ-О (СВ-Р) БИБ при наземной отработке;
- прием, хранение и учет индивидуальных данных о приборе, определяемых при его изготовлении и обеспечение возможности их уточнения в процессе его наземной и летной эксплуатации.

В состав БИБ должны входить: оптические блоки (от одного до трех); основание для установки оптических блоков (ОБ); устройства защиты от пыли объектива каждого ОБ с механизмами их управления; защитная бленда для каждого ОБ; блок электроники (БЭ) с микроконтроллером (МК); программное обеспечение МК; вторичные источники электропитания и межблочная кабельная сеть [2].

#### **Анализ технических требований к логике управления функционированием информационной управляющей системой ориентации КА**

На этапах всего жизненного цикла, включая разработку, производство и эксплуатацию, к ИУС предъявляются требования: специальные технические, общие технические, эксплуатационные и технико-экономические.

#### **Специальные технические требования к техническим характеристикам и точности измерений**

Каждый входящий в состав БИБ оптический блок должен обеспечивать формирование информации об угловых координатах звезд – направляющих косинусах – в приборной системе координат и номере соответствующего ОК при наличии в его поле зрения звезд спектрального класса G2V и звездной величины от  $+0^m$  до  $+7^m$  в условиях отсутствия источника засветки (Солнце, Луна, Земля).

В качестве приборной системы координат (ПСК) принимается правая ортогональная система координат  $Ox_{II}y_{II}z_{II}$ , связанная с основанием прибора для установки ОБ и определяемая следующим образом:

– начало системы координат располагается в центре посадочной плоскости основания;

– ось  $OZ_{\Pi}$  совпадает с нормалью к посадочной плоскости основания и направлена от нее в сторону оптических блоков;

– положение осей  $OX_{\Pi}$  и  $OY_{\Pi}$  в посадочной плоскости основания определяется разработчиком.

Оптические оси ОК должны располагаться по ребрам трехгранной призмы с вершиной в начале ПСК. Углы между осями, лежащими в одной плоскости, должны составлять 90 град.

ПСК БИБ определяется посадочными местами основания.

Величина поля зрения каждого оптического блока должна обеспечивать регистрацию звезд в количестве не менее 5 с вероятностью 0,995 при объеме звездного каталога  $\sim 8000$  звезд, равномерно распределенных на небесной сфере.

Прибор должен функционировать в трех диапазонах угловой скорости движения КА при: отсутствии постоянной составляющей угловой скорости – инерциальная ориентация; наличии постоянной составляющей угловой скорости 0,07 град/с – орбитальная ориентация; угловой скорости от 0,085 град/с до 2 град/с.

При этом угловая скорость стабилизации составляет не более 0,015 град/с; угловое ускорение – не более 0,01 град/с<sup>2</sup>; амплитуда угловых колебаний в диапазонах угловой скорости не превышает 5 град.

Средняя квадратическая погрешность ( $3\sigma$ ) определения угловых координат звезд в ПСК БИБ для соответствующих диапазонов угловой скорости не должна превышать следующих значений: инерциальная ориентация – 2 угл.с, орбитальная ориентация – 10 угл.с.

Средняя квадратическая погрешность ( $3\sigma$ ) определения координат звезд в ПСК БИБ при угловой скорости не должна превышать 40 угл.с.

Прибор должен обеспечивать заданные характеристики при следующих светотехнических условиях:

– угол между оптической осью ОК и направлением на Солнце или на зеркальные элементы конструкции КА, отражающие солнечный свет в сторону ОК, должен быть не менее 30°;

– угол между оптической осью ОК и направлением на край Земли или Луны, освещенный Солнцем, должен быть не менее 20 град.

При попадании источника засветки в поле зрения ОК, прибор должен выдавать соответствующий признак и идентифицировать источник засветки (Солнце, Луна, Земля).

Время готовности БИБ к работе (с момента времени подачи на него электропитания) должно быть не более 5 мин.

Прибор должен восстанавливать способность определения координат звезд при обеспечении нормальных светотехнических условий не более чем

через 2 мин. после попадания источника засветки в поле зрения ОК.

Гарантийный срок эксплуатации БИБ должен быть не менее 7 лет, в том числе хранение до 2 лет в складских условиях в собственной таре или в составе КА.

Гарантийный ресурс работы БИБ:

– при наземных испытаниях – 1000 часов;

– при летных испытаниях продолжительностью до 5 лет – 28930 часов (3,3 года).

Время после последней регламентной проверки до начала летных испытаний не превышает 6 месяцев.

Гарантийный срок эксплуатации БИБ - не менее 43800 часов (5 лет).

Количество включений прибора при наземной эксплуатации и в полете не превышает 5000.

БИБ должен допускать выключение напряжения первичного электропитания с последующим его включением не ранее, чем через 1 минуту.

### **БИБ должен обеспечивать требования обмена информацией с БКУ:**

– информационный обмен БЭ с основным или резервным СВ БИБ (СВ-О и СВ-Р) на базе последовательного асинхронного цифрового канала связи RS485 по протоколу SSP 2.0 со скоростью не менее 921,6 кБод/с [3];

– прием в БЭ информации об угловых координатах звезд, сформированной каждым из ОК;

– самопроверку функционирования с формированием соответствующего признака;

– проверку функционирования его составных частей с формированием соответствующих признаков;

– формирование и выдачу в систему телеметрического контроля параметров, позволяющих оценить правильность функционирования прибора;

– формирование технологической выходной информации при наземных испытаниях по командам, выдаваемым из СВ-О (СВ-Р) БИБ;

– открытие (закрытие) объективов ОК по командам, выдаваемым из СВ-О (СВ-Р) БИБ;

– обновление информации с частотой не менее 30 Гц;

– прием, хранение и учет индивидуальных данных о приборе;

– прием из СВ-О (СВ-Р) БИБ массивов корректировки и замены программного обеспечения оптического звездного датчика;

– выдачу в СВ-О (СВ-Р) БИБ признака засветки при попадании источника засветки в поле зрения оптического канала с идентификацией источника засветки (Солнце, Земля, Луна);

– срабатывание защиты ОК при засветке.

БИБ должен быть работоспособен при подаче на его вход напряжения постоянного тока в диапазоне (24...32) В.

При переходных процессах в первичной сети электропитания возможны всплески и провалы

напряжения длительностью до 0,3 с величиной до 4 В относительно его текущего значения. При этом напряжение первичного электропитания не выходит за пределы (22...34) В с учетом пульсаций.

Амплитудное значение пульсаций напряжения электропитания не превышает 1,5 В в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц с дальнейшим снижением в диапазоне частот от 10 кГц до 150 кГц по логарифмическому закону, на частоте 150 кГц амплитудное значение пульсаций напряжения не превышает 0,015 В.

Входы БИБ по электропитанию должны быть выполнены по двухпроводной схеме без электрического сообщения цепей электропитания с «корпусом».

Пусковой ток в цепях электропитания БИБ при включении прибора не должен превышать 10 А длительностью до 2 мс на уровне 0,5 амплитуды.

Несанкционированное снятие напряжения электропитания с БИБ в процессе его функционирования не должно приводить к появлению в нем неисправностей.

При появлении неисправности в БИБ ток в цепях электропитания не должен превышать 10 А длительностью до 2 мс.

БИБ должен нормально функционировать при появлении электрической связи с «корпусом» одной из шин электропитания.

Пульсации напряжения, создаваемые БИБ в цепях электропитания, не должны превышать амплитудное значение 200 мВ.

Мощность, потребляемая БИБ в рабочем режиме, должна быть не более 8 Вт (для трех ОК) в заданном диапазоне температур посадочной плоскости под прибор.

Включение БИБ должно осуществляться путем подачи на него напряжения электропитания (24...32)В от СУ КА.

При этом открытие объективов ОК и начало измерений БИБ должно производиться после выдачи соответствующих команд из СВ-О (СВ-Р).

Вероятность безотказной работы прибора БИБ должна быть не менее 0,98.

Под отказом прибора понимается потеря его работоспособности или такое ее нарушение, которое приводит к невыполнению им заданных функций.

Обеспечение надежности БИБ должно проводиться в соответствии с программой обеспечения надежности.

#### **Общие технические требования к конструкции**

Разработка БИБ должна проводиться с учетом обеспечения его стойкости, прочности к воздействию механических, климатических и других факторов.

В БИБ должны быть реализованы схемно-конструктивные меры, исключаящие неадресную стыковку соединителей кабелей при установке прибора в схему БИБ, а также предусмотрены цепи для контроля стыковки соединителей.

Конструкция БИБ должна исключать возможность неправильной его установки на посадочное место.

Основание БИБ должно быть унифицированным и позволять установку от одного до трех ОБ. На основании должен быть установлен оптический элемент для взаимной увязки приборных систем координат БИБ.

С целью обеспечения требуемой стабильности взаимного углового положения ПСК БИБ и блока чувствительных элементов указанные приборы устанавливаются в КА на единое основание.

Конструкция БИБ должна обеспечивать удобство доступа к электросоединителям, удобство их стыковки и расстыковки с применением стандартного инструмента, удобство монтажа и демонтажа прибора.

Конструкция БИБ должна обеспечивать пылевлагозащиту прибора и его функционирование в полете в условиях открытого приборного отсека в соответствии с требованиями ГОСТ 14254-96 (не хуже код IP54).

БИБ и блоки, входящие в состав прибора, должны сохранять эксплуатационные и технические характеристики после воздействия нагрузок на участке выведения КА и при воздействиях в полете КА.

На корпусе БИБ должны быть нанесены положительные направления осей приборной системы координат.

На габаритно-установочном чертеже должны быть указаны:

- положение центра масс;
- направление осей приборной системы координат;
- мощность, выделяемая прибором в установившемся режиме его работы.

Масса БИБ с тремя ОК не должна превышать 4 кг.

БИБ должен допускать очистку и контроль чистоты его наружных поверхностей перед подачей в чистое помещение. Очистка выполняется с помощью пылесоса и протиркой поверхностей салфеткой из безворсовой ткани (типа АСТ-100, фторлоновая, полиэфирная и т. п.), смоченной в спирте этиловом ректифицированном по ГОСТ 5962-79 или ГОСТ 18300-87 и отжатой от его избытка.

Контроль чистоты приборов выполняется люминесцентным методом в косых лучах ультрафиолетового света длиной волны 365 нм лампой мощностью 125 Вт. В случае обнаружения жировых загрязнений выполняется доочистка загрязненных мест последовательной протиркой вначале салфеткой, смоченной в нефрасе, а затем салфеткой, смоченной в спирте этиловом.

БИБ должен разрабатываться с использованием сырья, материалов, комплектующих изделий и электрорадиоизделий (ЭРИ), обеспечивающих получение требуемых характеристик аппаратуры.

В целях обеспечения высокой надежности аппаратуры рекомендуется применять ЭРИ в облегченных режимах.

Применение ЭРИ в условиях и режимах, не оговоренных или отличающихся от указанных в стандартах и технических условиях на них, допускается только в исключительных случаях.

Допускается комплектовать БИБ ЭРИ с индексами «ОС», «ОСМ», «М», «ОВП (ВП)» и ЭРИ индустриального применения, Space, Military.

Комплектуемые изделия, ЭРИ до установки их в БИБ должны подвергаться входному контролю с целью отбраковки потенциально ненадежных.

В БИБ должны быть в максимальной степени использованы стандартные, унифицированные и ранее разработанные детали и узлы.

Конструкция БИБ должна быть технологичной.

Метрологическое обеспечение разработки, испытаний, производства и эксплуатации БИБ должно соответствовать требованиям государственной законодательной и нормативной документации в сфере метрологии и метрологической деятельности.

Требования к радиоэлектронной защите БИБ состоят в обеспечении его электромагнитной совместимости с БКУ, аппаратурой СУ КА и смежных с ней систем и должно соответствовать стандарту SSP 5004 (с учетом ECSS-E-20A).

Для оценки соответствия изготовленного образца его документации БИБ подвергается автономным испытаниям на специальном рабочем месте с использованием контрольно-проверочной аппаратуры БИБ (КПА БИБ).

Перечень видов испытаний, подтверждающих выполнение БИБ установленных требований ТЗ, должен быть приведен в комплексной программе экспериментальной отработки (КПЭО) прибора.

Входной контроль БИБ проводится в объеме внешнего осмотра, проверки сопроводительной документации, контроля функционирования прибора в целом и всех его основных узлов и блоков, с использованием КПА БИБ.

БИБ не должен являться источником взрыва или пожара. С этой целью должны быть выполнены следующие требования:

– все применяемые неметаллические материалы, находящиеся в контакте с атмосферой отсека, не должны при испытаниях и эксплуатации возгораться и выделять токсичные вещества;

– должна быть обеспечена металлизация прибора и его кабельной сети, используемых при испытаниях.

Места крепления и типы элементов металлизации определяются при разработке габаритно-установочного чертежа (ГУЧ). В технических требованиях габаритного чертежа прибора должно быть указание о металлизации его с конструкцией, на которой он устанавливается.

Материалы и покрытия, применяемые при изготовлении АБ, не должны поддерживать горение и самостоятельно гореть после удаления источника воспламенения.

Прибор должен иметь соответствующий идентификационный ярлык, расположенный на видимой, несъемной части прибора. Идентификационные данные должны быть четко нанесены и должны содержать следующие сведения:

- индекс прибора,
- заводской номер,
- дата изготовления.

БИБ должен быть опломбирован и опечатан представителями отдела технического контроля.

Маркировка должна быть устойчивой к воздействию внешних факторов в течение всего срока эксплуатации, механически прочной и не должна стираться.

Упаковка должна обеспечивать сохранность АБ при транспортировке всеми видами транспорта в условиях, указанных в разделе 6.

Конструкция АБ должна быть технологичной и соответствовать требованиям ГОСТ В20.39.308-76.

### **Выводы**

В работе определены требования к технологиям информационного обмена, конструкции и характеристикам оптических каналов бесплатформенных инерциальных блоков. Предложенные конструкторско-технологические решения, логическая структура информационной управляющей системы ориентации КА позволяют повысить оперативность принятия проектных решений при разработке приборов определения и построения ориентации летательных аппаратов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Ершова Н.Ю., Ивашенков О.Н., Курсков С.Ю., Микропроцессоры: учебное пособие [Текст]. – Петрозаводский государственный университет, 2012. – 110 с.
2. Орлов С. А. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов. 2-е изд. [Текст] / С. А. Орлов, Б. Я. Цилькер – СПб. : Питер, 2011. – 688 с.
3. Тарасов И. Е., Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL [Текст] / И. Е. Тарасов, – Горячая Линия - Телеком, 2005. - 252 с.