

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ
АСТРООРИЕНТАЦИИ БОКЗ СО ВСТРОЕННЫМИ
ДАТЧИКАМИ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

*Р.В. Бессонов, С.А. Дятлов, А.Н. Куркина, В.А. Красилов,
М.И. Куделин, В.Г. Собчук, А.А. Фориш*

Институт космических исследований
Российской академии наук, Москва

Представлены результаты, достигнутые ИКИ РАН при создании первого в России интегрированного прибора ориентации КА. На данном этапе развития техники созданный в ИКИ РАН прибор имеет единственный аналог в мире — прибор ISC, разработанный лабораторией Ч. Дрейпера и установленный на КА ВВС США TacSat-2.

The results obtained at IKI RAN in creating the first in Russia integrated s/c attitude control instrument are given. At present the created at IKI RAN instrument has the only analog in the world — Inertial Stellar Compass (ISC) developed at the Draper laboratory and installed on-board the TacSat-2 s/c of the USA air force.

Одним из путей развития приборов ориентации космических аппаратов (КА) является объединение прибора звездной ориентации и гироскопа. Интеграция этих приборов позволяет улучшить такие показатели системы управления КА как масса, габариты, энергопотребление, помехозащищенность и точность. В статье представлены результаты, достигнутые ИКИ РАН при создании первого в России интегрированного прибора ориентации КА. На данном этапе развития техники созданный в ИКИ РАН прибор имеет единственный аналог в мире — прибор ISC, разработанный лабораторией Ч. Дрейпера и установленный на КА ВВС США TacSat-2.

Идея объединения датчика звездной ориентации и датчиков угловой скорости (ДУС) в одном интегрированном приборе зародилась в ИКИ РАН в конце 1990-х гг. Предпосылками для этого служили тенденции в развитии приборов звездной ориентации и гироскопии, а также опыт построения систем ориентации ряда космических аппаратов.

Первые модификации приборов звездной ориентации БОКЗ создавались в ИКИ РАН с целью периодической астрокоррекции гироскопов, по непрерывным показаниям которых осуществлялось управление ориентацией КА. Астрокорректоры предполагалось использовать в сеансном режиме, от них не требовалась высокая частота обновления информации и работа при высоких угловых скоростях КА. С этой задачей приборы БОКЗ успешно справлялись на 12 КА, демонстрируя высокие показатели надежности, помехозащищенности и точности. Однако нестабильная работа или отказ гироскопов на КА «Ямал-100», «Ресурс-ДК», «Космос-2410», «Космос-2420» вынуждали разработчиков использовать звездные приборы в контуре прямого управления угловым движением КА непрерывно. Для примера можно привести КА связи «Ямал-100» и «Ямал-200», управление ориентацией которых ведется по показаниям только звездных приборов БОКЗ. Кроме того, опыт эксплуатации КА дистанционного зондирования Земли «Ресурс-ДК», «Космос-2410» и «Космос-2420» показал, что при использовании непрерывно работающих звездных приборов БОКЗ-М и ДУС средней точности можно получать снимки земной поверхности с высоким разрешением. Применение астрокорректоров для прямого управления КА требовало увеличения их диапазона рабочей угловой скорости и частоты обновления информации. Эти задачи были решены ИКИ РАН при создании приборов БОКЗ-МФ и БОКЗ-М60, чувствительность, диапазон рабочих угловых скоростей и частота обновления информации которых были увеличены на порядок. В тех же направлениях двигалось развитие аналогичных приборов за рубежом, хотя следует заметить, что обычно это шло вразрез с точностью.

Эксплуатация приборов звездной ориентации в контуре прямого управления вместе с ДУС средней точности показала, что благодаря обмену информацией между двумя этими приборами достигается повышение надежности их функционирования, помехозащищенности и точности. Так, гироскоп требует астрокоррекции в любом случае, причем, если прибор звездной ориентации работает непрерывно, то правильно вести астрокоррекцию также непрерывно. По данным от

гироскопа может быть сформирована априорная информация для звездного прибора, которая требуется после засветки оптической системы Солнцем или при угловом ускорении КА. Кроме того, наиболее точное определение кинематики вращения КА достигается благодаря совместной фильтрации «сырых» измерений с датчиков. Следует отметить, что при использовании на борту высокоточной БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) перечисленные задачи должны решаться в бортовой вычислительной машине (БВМ). Однако при использовании ДУС средней точности, габаритные размеры которых соизмеримы с размерами оптической части прибора звездной ориентации, рационально использовать интеграционный подход и встраивать ДУСы в состав звездного прибора. При этом удается существенно улучшить показатели массы, габаритов и энергопотребления аппаратуры благодаря уменьшению кабельной сети, упрощению интерфейсных элементов, использованию единой конструкции, источника питания и вычислительной электроники. Обработка «сырой» оптической и инерциальной информации в интегрированном приборе может вестись в одном программном обеспечении, что значительно упрощает решение перечисленных выше задач.

Немаловажным достоинством интегрированного прибора является жесткая связь систем координат оптической и инерциальной систем, которая может быть с высокой точностью определена при наземной калибровке. Заметим, что при конструктивно разделенном звездном приборе и гироскопе связь их систем координат с достаточной точностью может быть определена только в космическом полете. Более того, даже после полетной калибровки температурные деформации конструкции КА могут приводить к существенным систематическим ошибкам при определении кинематических параметров. Такие эффекты минимизированы в интегрированном приборе. Компактность интегрированного прибора существенно расширяет возможности его отработки и отладки при наземных испытаниях, что также позитивно сказывается на надежности решения им целевой задачи в реальном космическом полете.

Учитывая все перечисленные достоинства интеграционного подхода, в ИКИ РАН в течение последних 5 лет велась работа по изучению различных ДУС и их внедрению в состав звездных приборов БОКЗ. Требования при выборе ДУС предъявлялись, в первую очередь, к их габаритам, которые не должны были превышать размеров оптической части звездного прибора. Таким требованиям удовлетворяют ДУС, выполненные на основе волоконно-оптического гироскопа (ВОГ), твердотельно-волнового гироскопа (ТВГ) и технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС).

Разработкой и созданием ДУС на основе ВОГ в России занимаются три компании: НПП «Физоптика» (г. Москва), НПО «Оптолинк» (г. Зеленоград) и ПНППК (г. Пермь). Российские производители достигли определенных успехов в разработке ВОГ и наполнили рынок приборами различных габаритов, точности и стоимости, что, с одной стороны, дает возможность выбрать подходящий ДУС для использования его в составе прибора БОКЗ. С другой стороны, все представленные российскими производителями ДУС изготовлены из нерадиационностойкого волокна и имеют малый ресурс, что накладывает существенные ограничения на их использование в космосе.

Разработкой и созданием гироскопа космического применения на базе ДУС производства НПП «Физоптика» уже в течение 10 лет занимается НПП «Антарес» (г. Саратов). За этот период компания достигла определенных успехов, обеспечивая радиационную стойкость изделия за счет массовой толщины защиты корпуса. ИКИ РАН и НПП «Антарес» неоднократно предпринимали попытки конструктивного объединения ВОГ и звездного прибора, которые пока не привели к положительным результатам, в основном из-за значительных габаритов ДУС, используемых в гироскопе производства НПП «Антарес».

ИКИ РАН также пытался создать кооперацию с ЗАО «Медикон» (г. Миасс), которое занимается разработкой и созданием ТВГ. Этот гироскоп обладает малыми габаритами, высокой точностью и радиационной стойкостью. Этой компанией уже создан макет прибора, однако летный образец пока не готов.

Параллельно с попытками построения кооперации в России ИКИ РАН закупал образцы зарубежных низкоточных МЭМС-датчиков, которые появились на рынке приборов несколько лет назад. В то время МЭМС-технология не рассматривалась серьезно в вопросах космической ориентации, однако за прошедший период количество фирм-производителей этих элементов увеличилось на порядок, а сами ДУС были доведены до среднего класса точности. При этом работы, проведенные ИКИ РАН с низкоточными ДУС, дали определенные результаты. Низкоточные ДУС были интегрированы в состав приборов звездной ориентации БОКЗ-МФ и БОКЗ-М60, разработаны методики их калибровки и отработки, создана удобная стендовая база.

При встраивании МЭМС-ДУС в состав приборов звездной ориентации масса этих приборов увеличилась всего на 30 г, а энергопотребление — на 0,5 Вт, при этом прибор стал полностью автономным. Поясним это на примере отработки интегрированного прибора на созданном испытательном стенде (рис. 1).



Рис. 1. Интегрированный стенд



Рис. 2. Измерения проекции вектора угловой скорости на оптическую ось прибора

Стенд состоит из неподвижной оптической части (монитор и коллиматор), моделирующей изображение участка звездного неба, и подвижной части (поворотной платформы), автоматически поворачивающей прибор. Управление работой прибора осуществляется персональным компьютером (ПК) КИА, который при обмене данными с прибором имитирует БВМ. На мониторе ПК КИА отображаются измерения, проведенные прибором. На рис. 2 показаны измерения проекции вектора угловой скорости на оптическую ось прибора БОКЗ-МФ по показаниям ДУС (инерциальный канал), и измерения, выполненные оптическим каналом прибора. Работа прибора началась с подачи команды «начальная ориентация», которая предполагает решение задачи определения кинематических параметров без априорной информации. Как видно на рис. 2, сразу после подачи команды прибор начал формировать информацию об угловой скорости по инерциальному каналу с частотой 1 Гц. Параллельно прибор

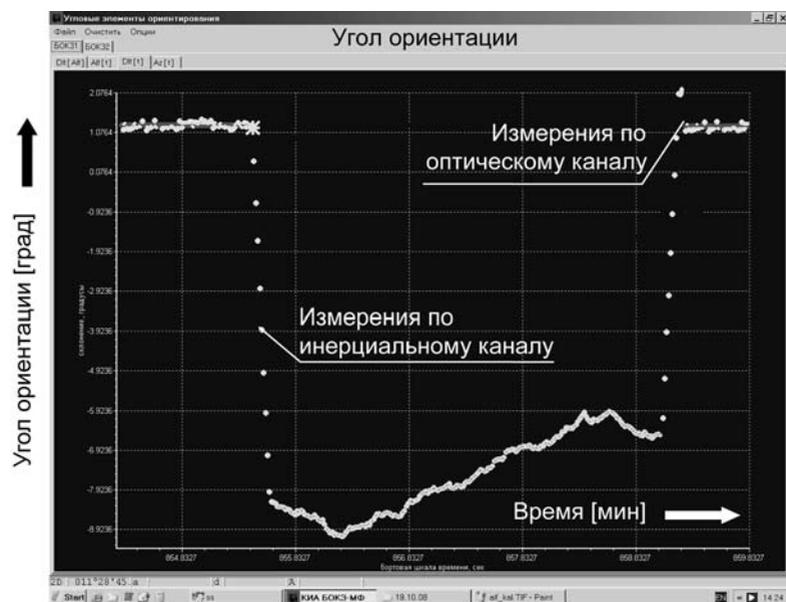


Рис. 3. Измерения угла поворота, выполненные прибором

произвел экспонирование, провел обработку видеоизображения и расчет параметров ориентации, затратив на эти операции 20 с. Затем прибор начал формировать информацию об ориентации и угловой скорости по оптическому каналу. В приведенном примере имитировалась ситуация, когда параметры модели датчиков угловой скорости (смещения нуля) по каким-либо причинам были заданы неверно. Следует сказать, что практически все типы ДУС подвержены случайным изменениям параметров модели ДУС вследствие действия радиации, вибрации, ускорения или температуры. В результате этого измерения инерциального канала могут выполняться с систематическими ошибками, как это показано на рис. 2. Однако видно, что после формирования прибором измерений по оптическому каналу, началась автоматическая калибровка параметров ДУС, сопровождаемая уточнением измерений инерциального канала. По прошествии времени фильтрации, используемой при калибровке, параметры мо-

дели ДУС были полностью уточнены, а в измерении угловой скорости по инерциальному каналу осталась только шумовая составляющая.

На рис. 3 показан другой пример работы прибора БОКЗ-МФ на том же стенде. В начальные моменты времени прибор определяет углы ориентации по изображениям звезд и производит непрерывную калибровку ДУС. В некоторый момент поворотная платформа начинает поворачиваться с угловой скоростью 1 град/с, в результате чего поле зрения прибора выходит за поле зрения стенда, и оптический канал теряет работоспособность. Параметры ориентации начинают вычисляться только по измерениям ДУС. После поворота на заданный угол платформа останавливается и остается в неподвижном положении в течение 4 мин, затем возвращается в исходное состояние, и прибор начинает «видеть» звезды. Сразу после этого уже на следующем такте измерений оптический канал восстанавливает свою работоспособность, используя априорную информацию от ДУС. При этом угловая ошибка, накопленная при интегрировании ДУС, обнуляется.

Этот пример хорошо иллюстрирует имитацию нештатной ситуации для звездного датчика, возникающую при засветке поля зрения прибора Солнцем или при значительной угловой скорости КА. На практике такие ситуации не продолжительны — не более 15 мин. После них БВМ, используя измерения бортового гироскопа, формирует априорную информацию для звездного датчика, и тот восстанавливает работоспособность. Из приведенного примера видно, что интегрированный прибор делает это самостоятельно. Кроме того, он формирует информацию об ориентации и угловой скорости КА, в том числе при нештатной ситуации. Следует сказать, что точностных характеристик низкоточных ДУС, используемых в составе приборов БОКЗ-МФ и БОКЗ-М60, конечно, недостаточно для динамичного управления КА. Эти ДУС в первую очередь используются для повышения помехозащищенности звездного прибора, хотя могут рассматриваться и как резервные для БВМ.

В настоящее время в ИКИ РАН ведется разработка нового поколения интегрированных приборов, чьи ДУС в 20 раз точнее образцов, использованных в приборах БОКЗ-МФ и

БОКЗ-М60. При использовании этих ДУС прибор становится равноточным относительно оптических и инерциальных измерений. При этом повышается эффективность совместной фильтрации измерений с обоих каналов и прогнозирования кинематических параметров движения КА. Совместная обработка показаний прибора, во-первых, повышает точность измерений, а во-вторых, позволяет формировать выходную информацию с частотой и задержками по времени, достаточными для прямого управления КА. Кроме того, новый прибор будет содержать приемно-вычислительное устройство сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС/GPS, что позволит вычислять все параметры орбитального движения КА. Такой прибор способен заменить кинематический контур КА, обладая при этом массой до 5 кг, что, конечно, выгодно с точки зрения показателей габаритно-массовых, надежности и стоимости.

СИСТЕМА ДАТЧИКОВ ГИДА ТЕЛЕСКОПА Т-170М

*Г.А. Аванесов, С.В. Воронков, Я.Л. Зиман,
В.А. Красиков, М.Ю. Куделин, А.А. Фориш*

Институт космических исследований
Российской академии наук, Москва

Рассмотрена концепция построения системы датчиков гида, предназначенной для использования в контуре управления космического аппарата «Спектр-УФ» при наведении телескопа Т-170М на объект наблюдения. Обоснован выбор типа и модели ПЗС-матрицы, являющейся фоточувствительным элементом датчика гида. Приведены результаты моделирования перемещения изображений звезд в поле зрения датчика гида, и оценена достижимая точность вычисления координат изображений звезд на ПЗС.

A concept of the guide system design is considered. The system would be used in the Spectr-UF s/c control circuit for pointing the T-170M telescope to the observation object. Choice of the type and the model of the guide's sensor photosensitive element (CCD array) is grounded. Results of simulating a star image displacement in the guide sensor's field of view are presented. The achievable accuracy of calculating coordinates of the star images on the CCD-array is estimated.

Введение

К числу международных космических проектов, в которых участвует институт космических исследований российской академии наук (ИКИ РАН), относится создание космической международной астрофизической обсерватории, предназначенной для исследования космического пространства в ультрафиолетовом диапазоне длин волн с высоким угловым разрешением. Обсерватория строится на базе космического аппарата (КА) «Спектр-УФ», в состав бортовой аппаратуры которого входит телескоп Т-170М, обеспечивающий достижение основных научных целей проекта.

Решение поставленных перед обсерваторией задач возможно при условии наведения телескопа на наблюдаемый объект с высокой точностью и удержания его в заданном положении в течение достаточно длительных интервалов времени. Для этого в телескопе планируется использовать разрабатываемую в ИКИ РАН систему датчиков гида (СДГ).