

УДК 520.6

ОБЗОР ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ ОРИЕНТАЦИИ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*С.А. Дятлов, Р.В. Бессонов*

Институт космических исследований  
Российской академии наук, Москва

Приведены описание и основные технические характеристики звездных датчиков ориентации отечественного и зарубежного производства. Основные характеристики рассматриваемых приборов сведены в таблицы.

A description and the main technical characteristics of the Russian and foreign star trackers are given. The main characteristics are presented in tables.

Широкопольные звездные датчики на базе ПЗС-матриц, определяющие параметры ориентации путем сравнения изображения наблюдаемого участка звездного неба с хранящимся в памяти бортового компьютера звездным каталогом, начали применяться как средство измерения параметров ориентации космических аппаратов (КА) в конце 80-х гг. прошлого века.

Пионерами в этой области стали JPL (США), Officine Galileo (Италия), SODERN (Франция) и ИКИ АН СССР в кооперации с предприятием «Карл Цейсс Йена» (ГДР).

Фирма SODERN в 1985 г. начала разработку звездного координатора SED12, основанного на ПЗС-матрице, для русско-французского проекта «Сигма». Конструктивно прибор состоял из двух блоков: оптического блока и блока электроники. Блок электроники имел два канала и мог функционировать с двумя оптическими блоками. Впервые прибор SED12 был установлен и выведен в космос в 1989 г. на советском спутнике «Гранат» и проработал в течение 10 лет до закрытия проекта. В дальнейшем он был использован на спутниках Helios-1, Helios-2 (французские спутники ДЗЗ), ODIN (шведский спутник), ENVISAT (европейский спутник, изучение окружающей среды).

ИКИ АН СССР и «Карл Цейсс Йена» в середине 1980-х гг. разработали систему «Астро» для космической станции «Мир». Комплекс включал три цифровые телеви-

зионные камеры на базе матричных ПЗС, три электронных блока обработки звездных снимков и общий электронный блок комплекса. Система «Астро» была установлена на станции в 1989 г. и успешно проработала в течение 11 лет вплоть до закрытия проекта. Кстати, станция «Мир» была успешно затоплена с использованием показаний системы «Астро».

В настоящее время за рубежом насчитывается более 10 производителей звездных приборов, среди них: SODERN (Франция), Jena-Optronik (Германия), Galileo Avionica (Италия), Ball Aerospace (США), Goodrich (США), Terma (Дания, Германия, Нидерланды, Сингапур, США) и др., которые выпускают более 30 моделей звездных приборов различного типа и назначения (приложение).

В России одной из организаций, производящей звездные датчики ориентации для космических аппаратов (КА), является ИКИ РАН. Эти приборы получили название блок определения координат звезд (БОКЗ). С середины девяностых годов институтом было изготовлено более 60 приборов БОКЗ (рис. 1) в различных модификациях, которыми были оснащены 14 КА. Среди них Международная космическая стан-

ция, аппараты серии «Ямал», «БелКА», «Ресурс-ДК».

Еще один российский производитель подобных приборов — это московское ОКБ «Марс», — с 2005 г. им были оснащены два КА: «Монитор» и «Казсат».

В отличие от приборов БОКЗ, производимых ИКИ РАН, звездные датчики МОКБ «Марс» не являются автономными. Они используют для обработки данных вычислительные мощности бортовой ЭВМ.



Рис. 1. Внешний вид прибора БОКЗ-М

Рис. 2. Внешний вид прибора 329К



ОАО «НПП» Геофизика-Космос» (г. Москва) в прошлом разрабатывало и производило большое количество звездных приборов. Во времена существования СССР многие космические аппараты оснащались датчиками звезды производства ГП НПО «Геофизика», которое впоследствии было преобразовано в ОАО «НПП» Геофизика-Космос». В настоящее время предприятие разрабатывает широкопольные звездные приборы 329К (рис. 2), 345К и 348К. Летных испытаний этих приборов не было. Сравнение характеристик звездных датчиков ориентации российских производителей представлено в табл. 1.

Имеются сведения о разработке звездных приборов на зеленоградском предприятии «Лептон».

#### Звездные датчики ориентации производства фирмы SODERN

Одним из мировых лидеров по производству звездных приборов является французская фирма SODERN. Сегодня она выпускает звездные приборы SED16, SED26, SED36 и HYDRA. Все эти приборы являются автономными, т. е. способны определять параметры ориентации с помощью собственных вычислительных средств.

В мае 2002 г. прибор SED16 (рис. 3) был впервые выведен в космос на космическом аппарате SPOT5. Этот прибор был основан на ПЗС-матрице размером 1024×1024 элемента. Разработчики предусмотрели две возможности крепления прибора: горизонтально и вертикально. Прибор имеет зеркальные кубы для определения системы координат прибора относительно системы координат КА.

Таблица 1. Сравнительная таблица звездных датчиков ориентации российских производителей

Прибор	Масса, кг/ Размеры, мм	Мощность потребле- ния, Вт	Точность, $\sigma_{\text{хз}}/\sigma_z$ , угл.с	Макс. угловая скорость, град/с	Частота обновле- ния, Гц	Поле зрения, град	Число элементов матрицы	Звездные величины
БОКЗ ИКИ РАН (1998)	4,5 / 450×230×200	11	2 / 20	0,15	0,3	8×8	512×512	+7,5
БОКЗ-У ИКИ РАН (1999)	4,25 / 490×240×190	11	2 / 20	0,15	0,3	8×8	512×512	+7,5
БОКЗ-М ИКИ РАН (2002)	4 / 370×230×230	9	2 / 20	0,5	0,3	8×8	512×512	+7,5
БОКЗ-МФ ИКИ РАН (2007)	1,3 / 200×200×200	8	5 / 25	4	1	18×18	512×512	+6
БОКЗ-М60 ИКИ РАН (2008)	4 / 370×230×230	9	1,5 / 15	1,2	1	8×8	512×512	+7,5
БОКЗ-М60/1000 ИКИ РАН (2009)	4,5 / 420×230×230	10	1 / 10	3	4	18×18	1024×1024	+6
329К «НПП «Геофизика- Космос»	3 /	12	8 / 20	—	4	—	—	—
345К «НПП «Геофизика- Космос»	1,7 /	12	7 / 20	—	До 10	—	—	—
348К «НПП «Геофизика- Космос»	3,7 /	11,5	11	1	5	15×15	1024×1024	—

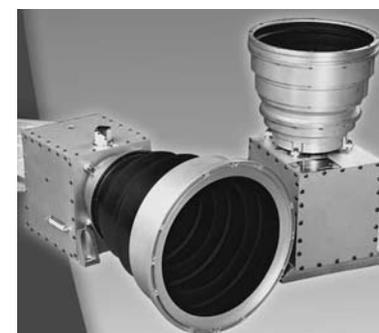


Рис. 3. Внешний вид прибора SED16/26

Развитием прибора SED16 стал звездный координатор SED26 с повышенной точностью, но с большей массой. По данным разработчика, на сентябрь 2006 г. в космосе функционируют 24 прибора SED16/26, 12 из них — на

геостационарной орбите. Более 90 приборов SED16/26 было заказано в 15 странах мира.

В 2006 г. была завершена разработка звездного прибора SED36 (рис. 4). Этот прибор конструктивно выполнен в виде двух блоков: оптического блока и блока электроники. До этого фирма SODERN разрабатывала конструкции звездного датчика в виде моноблока. Разработчики пошли на разделение моноблока, стремясь минимизировать механические искажения в оптическом канале, возникающие из-за неравномерности распределения температуры. При этом удалось снизить систематическую ошибку прибора и добиться точности определения направления оптической оси 0,3 угл.с ( $\sigma$ ), вокруг оптической оси 2 угл.с ( $\sigma$ ). Но разделение на два блока привело к увеличению массы прибора. Прибор SED36 разрабатывался в кооперации с итальянской фирмой Galileo Avionica, и хорошо заметны конструктивные аналогии между приборами этих фирм. В табл. 2 приведены основные характеристики приборов SED16/26/36.



Рис. 4. Внешний вид прибора SED36

Таблица 2. Основные характеристики приборов SED16/26/36

Параметр	Прибор		
	SED16	SED26	SED36
Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ , угл.с	3/18	1/5	0,3/2
Максимальная угловая скорость, град/с	20	20	10
Частота обновления, Гц	До 10	До 10	До 8
Поле зрения, град	25×25	25×25	—
Масса, кг	3	3,3	3,7
Мощность потребления, Вт	7,5	7	8,5
Размеры, мм	160×170×290	160×170×350	130×130×460*
Формат ПЗС-матрицы	1024×1024	1024×1024	1024×1024

\* Размеры оптического блока.

В 2003 г. фирма SODERN начала разработку нового звездного прибора HYDRA (рис. 5), основанного на КМОП-матрице Star1000 HAS. В состав прибора входят три или четыре оптические головки (см. рис. 5) и два блока электроники. Каждый блок электроники способен обслуживать два оптических блока. Использование нескольких оптических блоков позволяет повысить точность измерений, увеличить

помехозащищенность и надежность прибора. Кроме того, благодаря нескольким оптическим блокам прибор имеет равноточную характеристику по трем осям.



Рис. 5. Внешний вид оптической головки прибора HYDRA

### Основные характеристики прибора HYDRA

Точность,  $\sigma$  . . . . . 6 угл.с\*  
 Максимальная угловая скорость . . . . . 10 град/с  
 Частота обновления . . . . . до 30\* Гц  
 Поле зрения . . . . . 23×23°  
 Масса . . . . . 5,1 кг\*  
 Мощность потребления. . . . . 15 Вт\*  
 Размеры оптического блока . . . . . 162×162×327 мм  
 Размеры блока электроники. . . . . 145×150×100 мм  
 Формат КМОП-матрицы . . . . . 1024×1024

\* Параметры указаны для 2 оптических блоков и 1 блока электроники.

### Звездные датчики ориентации производства фирмы Jena-Optronik

Еще одним ведущим мировым производителем является немецкая фирма Jena-Optronik, созданная в ГДР на базе Народного предприятия «Карл Цейсс Йена». Первый звездный прибор, основанный на ПЗС, фирма Jena-Optronik разработала совместно с Институтом космических исследований АН СССР.

Сегодня фирма Jena-Optronik производит три модели звездных приборов: ASTRO 10, ASTRO 15 (рис. 6) и ASTRO APS (рис. 7). Все приборы являются автономными. Их основные характеристики представлены в табл. 3.

Таблица 3. Основные характеристики приборов фирмы Jena-Optronik

Параметр	Прибор		
	ASTRO10	ASTRO15	ASTRO APS
Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ , угл.с	2/15	1/10	2/15
Максимальная угловая скорость, град/с	1	2	5
Частота обновления, Гц	8	4	10
Поле зрения, град	18×14	14×14	20×20
Масса, кг	2,9	6,15	1,8
Мощность потребления, Вт	14,5	—	9
Размеры, мм	∅140×242*	∅192×552	120×120×230
Формат матрицы	ПЗС 696×520	ПЗС 1024×1024	КМОП 1024×1024

\* Размеры оптического блока.



Рис. 6. Внешний вид прибора ASTRO15 без бленды



Рис. 7. Внешний вид прибора ASTRO APS

У прибора ASTRO15 диаметр диафрагмы составляет 50 мм, это позволило повысить отношение сигнал/шум прибора до 35 при съемке звезд +6 величины. Этот показатель — наивысший среди приборов, рассмотренных в данной статье. Однако точностные характеристики значительно скромнее, чем у прибора SED36 фирмы SODERN, у которого диаметр диафрагмы гораздо меньше. Поэтому ясно, что оценки точности разными производителями неоднозначны. Необычна конструкция прибора. Лапы для крепления расположены в середине корпуса. При таком расположении крепления тепловой поток от ПЗС-матрицы испытывает наименьшее сопротивление.

Фирма Jena-Optronik произвела более 30 приборов ASTRO 10 и более 30 приборов ASTRO 15. Звездный датчик ASTRO 15 был выбран в качестве основного для платформы Boeing 702, и на эту платформу поставлено уже 14 звездных приборов.

Прибор ASTRO APS (см. рис. 7) — последняя разработка фирмы Jena-Optronik. Этот звездный датчик основан на КМОП-матрице. Прибор ASTRO APS является одним из самых маленьких по массогабаритным характеристикам.

### Звездные датчики ориентации производства фирмы Galileo Avionica

Итальянская фирма Galileo Avionica разрабатывает и производит звездные датчики для микроспутников. В настоящее время она выпускает приборы A-STR (рис. 8) и AA-STR (рис. 9). Все приборы являются автономными. Основные характеристики этих приборов приведены в табл. 4.

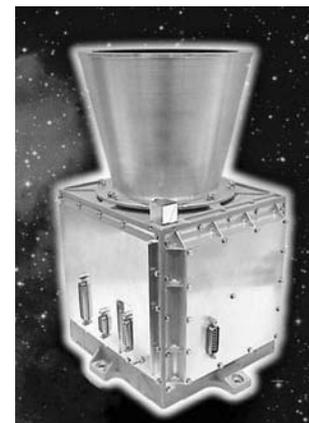


Рис. 8. Прибор A-STR

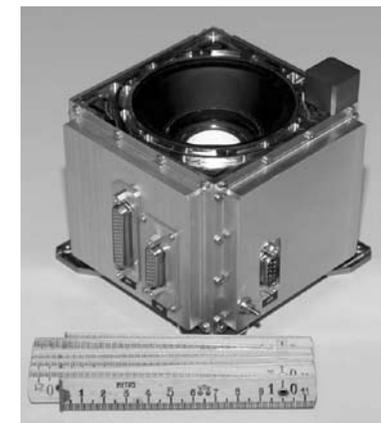


Рис. 9. Прибор AA-STR без бленды

Таблица 4. Основные характеристики приборов фирмы Galileo Avionica

Параметр	Прибор	
	A-STR	AA-STR
Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ , угл.с	3/32	6/50
Максимальная угловая скорость, град/с	2	2
Частота обновления, Гц	10	10
Поле зрения, град	17×17	20×20
Масса, кг	3	1,5
Мощность потребления, Вт	9	7
Размеры, мм	195×175×288	115×115×183
Формат матрицы	ПЗС 1024×1024	КМОП 1024×1024

В новом приборе AA-STR специалисты фирмы Galileo Avionics пытались применить КМОП-матрицу STAR-1000, но им не удалось достичь нужных параметров прибора. Поэтому пришлось отказаться от использования этой матрицы и применить более дорогую (доработанную модификацию этой матрицы) STAR-1000 HAS.

#### Звездные датчики ориентации производства фирмы Ball Aerospace

Фирма Ball Aerospace (США), являясь крупным производителем спутников, разрабатывает и производит для них звездные датчики ориентации СТ-602 (рис. 10), СТ-631, СТ-632, СТ-633 (рис. 11). Среди этих приборов присутствует только один автономный прибор СТ-633 — остальные для вычисления параметров ориентации используют вычислительные мощности бортового компьютера. Основные характеристики приборов приведены в табл. 5.



Рис. 10. Внешний вид прибора СТ-602



Рис. 11. Внешний вид приборов СТ-631, СТ-632, СТ-633

Таблица 5. Основные характеристики приборов фирмы Ball Aerospace

Параметр	Прибор			
	СТ-602	СТ-631	СТ-632	СТ-633
Точность*, $\sigma$ , угл.с	3	12	20	6/30
Максимальная угловая скорость, град/с	1,5	1,5	72	10
Частота обновления, Гц	10	5	10	5
Поле зрения, град	8×8	20×20	20×20	20×20
Масса без бленды, кг	5,4	2,5	2,25	2,25
Мощность потребления, Вт	8	8	8	8
Размеры, мм	∅178×250	∅135×142	∅135×142	∅135×142
Формат ПЗС-матрицы	512×512	512×512	512×512	512×512

\* Для СТ-602, СТ-631, СТ-632 — точность определения направления на звезду; для СТ-633 — точность определения параметров ориентации  $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ .

Серия звездных датчиков СТ-63х разрабатывалась для микроспутников и имеет широкое поле зрения. Масса приборов снижена более чем в два раза по сравнению с предыдущими разработками.

Особенностью звездного датчика СТ-632 является работа на больших угловых скоростях — до 72 град/с. Этот звездный прибор применяется на спутниках, которые для стабилизации используют вращение.

#### Звездные датчики ориентации производства фирмы Goodrich

В настоящее время американская фирма Goodrich выпускает звездные датчики ориентации HD-1003 (рис. 12) в двух модификациях: с узким (8×8°) и широким (20×20°) полями зрения. Приборы являются автономными. Основные характеристики этих приборов приведены в табл. 6.



Рис. 12. Внешний вид прибора HD-1003

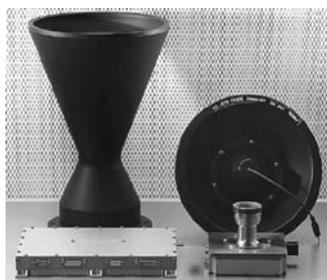


Рис. 13. Внешний вид прибора HE-5AS

Таблица 6. Основные характеристики приборов фирмы Goodrich

Параметр	Поле зрения, град	
	8×8	20×20
Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ , угл.с	2/40	5/40
Частота обновления, Гц	2	6
Масса, кг	3,9	3,4
Мощность потребления, Вт	10	10
Матрица	ПЗС	ПЗС

#### Звездные датчики ориентации производства фирмы Тегма

Интернациональная (Дания, Германия, Нидерланды, Сингапур, США) фирма Тегма относительно недавно начала разрабатывать звездные датчики ориентации. Приборы HE-5AS (рис. 13) этой фирмы функционируют на трех КА: с июня 2006 г. — на двух КА ВМФ и ВВС США MiTeX, с декабря 2006 г. — на TacSat-2. Приборы автономные и состоят из двух блоков: блока электроники и оптического блока.

#### Основные характеристики прибора HE-5AS

Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ .....	3/16 угл.с
Максимальная угловая скорость .....	2 град/с
Частота обновления .....	4 Гц
Поле зрения .....	22×22°
Масса .....	2 кг
Мощность потребления .....	8,5 Вт
Размеры оптического блока .....	∅234×379 мм
Размеры блока электроники .....	245×145×29 мм
Формат ПЗС-матрицы .....	1024×1024

#### Звездные датчики ориентации производства фирмы EMS Technologies

В Канаде разработкой звездных датчиков занимается фирма EMS Technologies. Созданный в 2000 г. звездный прибор CALTRAC (рис. 14) использовался в проектах PROTEUS JASON 1, NASA Mars 2001, Genesis Discovery Mission. Прибор является автономным.



Рис. 14. Внешний вид прибора CALTRAC

#### Основные характеристики прибора CALTRAC

Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ .....	10/18 угл.с
Максимальная угловая скорость .....	4 град/с
Частота обновления .....	10 Гц
Поле зрения .....	36×27°
Масса .....	3,4 кг
Мощность потребления .....	14 Вт
Размеры .....	255×255×330 мм
Матрица .....	ПЗС

Далее рассмотрим звездные приборы, предназначенные для микроспутников и изготовленные с применением индустриальной элементной базы.

#### Звездные датчики ориентации производства Технического университета Дании

Звездные приборы производства Технического университета Дании имеют наименьшие массогабаритные характеристики

и, по заявлениям производителя, довольно высокое быстродействие и точностные характеристики. Приборы автономные, состоят из блока электроники и нескольких оптических головок. Характеристики приборов производитель указывает скупно, и скорее всего в рекламных целях несколько завышает их. Прибор спроектирован с применением индустриальной элементной базы. Основные характеристики этих приборов приведены в табл. 7.

**Таблица 7.** Основные характеристики приборов Технического университета Дании

Параметр	Прибор	
	ASC	μASC
Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ , угл.с	2/8	1
Максимальная угловая скорость, град/с	7	10
Частота обновления, Гц	5	20
Поле зрения, град	22×16	20×20
Масса, кг	2	1,1
Мощность потребления, Вт	9,0	4
Размеры оптического блока без бленды, мм	50×50×50	50×50×50
Размеры блока электроники, мм	100×100×100	100×100×45
Формат ПЗС-матрицы	588×752	—

#### Звездные датчики ориентации производства фирмы Surrey Satellite Technology Limited (SSTL)

Английская фирма SSTL разрабатывает и производит микроспутники различного назначения. Кроме того, ею разрабатывается большая часть оборудования этих спутников, в том числе и звездные датчики ориентации. Прибор Altair-НВ (рис. 15) автономный, состоит из двух блоков: оптического



**Рис. 15.** Внешний вид прибора Altair-НВ

блока и блока электроники. Прибор спроектирован с применением индустриальной элементной базы.

#### Основные характеристики прибора Altair-НВ

Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ . . . . .	5/17 угл.с
Максимальная угловая скорость . . . . .	0,5 град/с
Частота обновления . . . . .	1 Гц
Поле зрения . . . . .	16×11°
Масса . . . . .	1,7 кг
Мощность потребления . . . . .	3 Вт
Размеры оптического блока . . . . .	150×150×285 мм
Размеры блока электроники . . . . .	190×135×33 мм
Матрица . . . . .	ПЗС

#### Интегрированные приборы

В космическом приборостроении наблюдается тенденция к комплексированию функционально близких приборов. Так, независимо друг от друга, фирмой Draper (США) и ИКИ РАН созданы два интегрированных прибора: Inertial Stellar Compass (ISC) (рис. 16) и БОКЗ-МФ (рис. 17) соответственно, сочетающих в себе звездный датчик ориентации и гироскоп. Эти функциональные блоки удачно взаимодополняют друг друга, увеличивая надежность выполнения прибором целевой задачи.

Опыт эксплуатации приборов звездной ориентации в космосе показал, что существует ряд нештатных ситуаций, при которых они не могут функционировать, несмотря на высокие технические характеристики. Примерами таких нештатных ситуаций могут быть засветка поля зрения прибора Солнцем или другими естественными и искусственными телами, а также превышение максимальной угловой скорости для данного звездного прибора. Комплексирование звездного датчика с гироскопом позволяет получить самодостаточный прибор, способный определять параметры ориентации во всех возможных ситуациях.

Прибор ISC информацию об угловом движении выдает с гироскопа, а по оптическим измерениям этот гироскоп периодически калибруется. Точность определения оптической оси прибора составляет 18 угл.с, вокруг оптической оси —



Рис. 16. Внешний вид прибора ISC



Рис. 17. Внешний вид прибора БОКЗ-МФ

37 угл.с, а точность самого прибора примерно в 10 раз хуже за счет относительно высокого шума микромеханического гироскопа. В период нештатных ситуаций для звездного датчика добавляется лишь ошибка случайного дрейфа гироскопа (дрейф 3,3 град/ч), а если учесть, что нештатные ситуации носят непродолжительный характер — несколько минут, то дрейф гироскопа не вносит существенной ошибки.

Прибор ISC фирмы Dgareg — единственный в настоящее время интегрированный прибор, который функционирует в космосе. Прибор состоит из двух блоков: оптического блока и блока электроники. Датчики угловой скорости встроены в оптический блок.

#### Основные характеристики прибора ISC

Точность, $\sigma$ .....	0,1°
Точность оптического измерения $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ .....	18/37 угл.с
Макс. угловая скорость .....	40 град/с
Частота обновления .....	5 Гц
Поле зрения .....	21×21°
Масса .....	2,9 кг
Мощность потребления .....	3,5 Вт
Формат КМОП-матрицы .....	512×512

В Институте космических исследований создано два интегрированных прибора: БОКЗ-МФ (см. рис. 17) и БОКЗ-М60. Прибор БОКЗ-М60 выполнен в конструктиве прибора БОКЗ-М (см. рис. 1). В отличие от прибора ISC информация об ориентации выдается по оптическим измерениям, гироскоп постоянно калибруется, а информация с него используется только при нештатных ситуациях, когда работа оптического канала невозможна. Более развитый оптический канал приборов обеспечивает в разработках ИКИ более высокие точностные характеристики, чем приборы фирмы Dgareg. Ближайший запуск космического аппарата с прибором БОКЗ-МФ на борту запланирован на конец 2009 г. Приборы БОКЗ-МФ и БОКЗ-М60 являются автономными. Их основные характеристики представлены в табл. 8.

Таблица 8. Основные характеристики интегрированных приборов ИКИ РАН

Параметр	Прибор	
	БОКЗ-МФ	БОКЗ-М60
Точность, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ , угл.с	5/25	1,5/15
Максимальная угловая скорость оптического измерения, град/с	4	1,2
Максимальная угловая скорость, град/с	20	20
Частота обновления, Гц	1	1
Поле зрения, град	18×18	8×8
Масса, кг	1,3	4
Мощность потребления, Вт	8	9
Размеры, мм	200×200×300	370×230×230
Формат ПЗС-матрицы	512×512	512×512

В ИКИ РАН разработка интегрированных приборов определения параметров ориентации стала одним из основных направлений. В настоящее время разрабатывается интегрированный прибор, который сочетает звездный датчик ориентации, гироскоп средней точности и приемо-вычислительное устройство спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Этот прибор по точностным параметрам будет полностью удовлетворять требованиям ДЗЗ.

## Приложение

Прибор	Масса, кг / Размеры, мм	Мощность потребления, Вт	Точность, $\sigma_{x,y,z}$ , угл.с	Макс. угловая скорость, град/с	Частота обновления, Гц	Поле зрения, град	Число элементов матрицы	Звездные величины
SODERN SED16 (Франция) 2002 г.	2,7 (без бленды) / 3 (с блендой) / 160×170×290	7,5	3/18	20	10	25×25	1024×1024	—
SODERN SED26 (Франция)	3,3 / 160×170×350 уг. засв. 25°	7 при 20 °С 9 при 40 °С	1 / 5	20	10	25×25	1024×1024	—
SODERN SED36 (Франция) 2006 г.	3,7 / 130×130×460	8,5	0,3 / 2	10	8	—	1024×1024	—
SODERN HYDRA (Франция) 2008 г.	1,7/162×162×327 (оптическая головка) 1,7/145×150×100 (блок электроники)	15	6	10	30	23×23	1024×1024	—
Jena-Optronik ASTRO 10 (Германия)	1,5 / D140×242 (оптическая головка угловой засветки 30°) 1,4 / 150×145×75 (электронный блок)	14,5	2 / 15	1	8	18×14	696×520	+6

## Продолжение прилож.

Прибор	Масса, кг / Размеры, мм	Мощность потребления, Вт	Точность, $\sigma_{x,y,z}$ , угл.с	Макс. угловая скорость, град/с	Частота обновления, Гц	Поле зрения, град	Число элементов матрицы	Звездные величины
Jena-Optronik ASTRO 15 (Германия)	6,15 / D192×552 (угловая засветка 25°)	—	1 / 10	2	4	14×14	1024×1024	+6,5
Jena-Optronik ASTRO APS (Германия) 2007 г.	1,8 / 120×120×230	9	2 / 15	5	10	20×20	1024×1024	+5,8
Galileo Avionica A-STR (Италия) 2004 г.	3 / 195×175×288	9	3 / 32	2	10	17×17	1024×1024	+5,5
Galileo Avionica AA-STR (Италия) 2007 г.	1,425 / 115×115×183	7	6 / 50	2	10	20×20	1024×1024	+5,4
Ball Aerospace ST-602 (США) 1995 г.	5,4 / D178×250 без бленды	8 при 20 °С 9 при 50 °С	3	1,5	10	8×8	512×512	+6
Ball Aerospace ST-631 (США) 1996 г.	2,5 / D135×142 без бленды	8 при 20 °С 9 при 50 °С	12	1,5	5	20×20	512×512	+4,5

Продолжение прилож.

Прибор	Масса, кг / Размеры, мм	Мощность потребления, Вт	Точность, $\sigma_{x,y,z}$ , угл.с	Макс. угловая скорость, град/с	Частота обновления, Гц	Поле зрения, град	Число элементов матрицы	Звездные величины
Ball Aerospace ST-632 (США) 1997 г.	2,25 / D135×142 без бленды	8 при 20 °С 9 при 50 °С	20	72	10	20×20	512×512	+3,9
Ball Aerospace ST-633 (США)	2,25 / D135×142 без бленды	8 при 20 °С 9 при 50 °С	6 / 30	10	5	20×20	512×512	+4,5
Goodrich HD-1003 (США)	3,9 3,4	10 10	2 / 40 5 / 40	— —	2 6	8×8 20×20	— —	+6,5 +5,1
Tetma HE-5AS (Дания, Германия, Нидерланды, Сингапур, США) 2006 г.	1 / 234×234×379 (оптическая головка) 1 / 245×145×29 (вычислительный блок)	8,5	3 / 16	2	4	22×22	1024×1024	—
EMS Tech. CALTRAC (Канада) 2000 г.	3,4 / 255×255×330	14	10 / 18	4	10	36×27	—	+7

Окончание прилож.

Прибор	Масса, кг / Размеры, мм	Мощность потребления, Вт	Точность, $\sigma_{x,y,z}$ , угл.с	Макс. угловая скорость, град/с	Частота обновления, Гц	Поле зрения, град	Число элементов матрицы	Звездные величины
ASC (Дания)	2 / 50×50×50 (оптическая головка) 100×100×100 (блок электроники)	9	2 / 8	7	5	22×16	588×752	—
μASC (Дания)	0,425 / 50×50×50 (оптическая головка) 100×100×45 (блок электроники)	4	1	10	20	20×20	—	—
SSTL Altair-HB Star Tracker (Великобритания)	0,9 / 150×150×285 (оптический блок с блендой) 0,8 / 190×135×33 (вычислительный блок)	3	5/17	0,5	1	16×11	—	+6
Draper Laboratory ISC (США) 2007 г.	2,9	3,5	18 / 37	40	5	21×21	512×512	—