



**СибАК**

www.sibac.info

ISSN 2308-5991



9 772308 599548 >

**СБОРНИК СТАТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ XLII МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

# **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – от теории к практике**



**№ 1(38)**

г. НОВОСИБИРСК, 2015



ЛАБОРАТОРИЯ  
ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ  
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

*Сборник статей по материалам  
XLII международной научно-практической конференции*

№ 1 (38)  
Январь 2015 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2015

## Оглавление

### Секция 1. Информатика, вычислительная техника и управление 6

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РАДИАЛЬНОЙ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6

Воротникова Татьяна Сергеевна

Власов Валерий Иванович

Авакян Тамара Ашотовна

Рыбин Герман Эдуардович

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА  
ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ВВОДА, ВЫВОДА И ОБРАБОТКИ  
ИНФОРМАЦИИ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ СЕКРЕТАРИАТА  
СОРЕВНОВАНИЙ 13

Коновалов Роман Викторович

Терентьев Денис Сергеевич

Коновалов Евгений Викторович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ БЛИЗОСТИ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ 19

Коновалов Роман Викторович

Терентьев Денис Сергеевич

Коновалов Евгений Викторович

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СТРУКТУРА ПОДДЕРЖКИ  
ПРОЦЕССОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 24

Куликов Роман Евгеньевич

### Секция 2. Машиностроение и машиноведение 30

ЭТАПЫ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МАЛОЖЕСТКИХ  
ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ 30

Семенов Кирилл Олегович

Расторгуев Дмитрий Александрович

ктор  
стем  
ьной  
дно-  
ской

ского

сопр.,  
девой  
НАН

внес-  
тегии

едры  
ского

едры  
ского

ст.  
(38).

ючен

татей

2015

<b>Секция 3. Аэрокосмическая техника и технологии</b>	<b>38</b>
РАЗРАБОТКА КАЗАХСТАНСКОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА	38
Елубаев Сулеймен Актлеуович	
Тен Владимир Валентинович	
Альбазаров Бахытжан Шапагатович	
Сарсенбаев Ербол Ерикович	
Алипбаев Куаныш Арингожаевич	
Шамро Александр Валентинович	
Бопеев Тимур Маратович	
ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	49
Молдабеков Мейрбек Молдабекович	
Елубаев Сулеймен Актлеуович	
Алипбаев Куаныш Арингожаевич	
Бопеев Тимур Маратович	
Сухенко Анна Сергеевна	
АВИАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ С ЦЕЛЬЮ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА — КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ	59
Хабаров Виталий Александрович	
Попов Дмитрий Викторович	
<b>Секция 4. Строительство и архитектура</b>	<b>65</b>
МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТРОЙСТВ НИЖНЕГО БЪЕФА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	65
Аубакирова Фарида Хабиевна	
МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ФИБРОАРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ	70
Ахмеднабиев Расул Магомедович	
Ахмеднабиев Расул Расулович	
<b>Секция 5. Сельское и лесное хозяйство, агроинженерные системы</b>	<b>76</b>
ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПОПЕРЕЧНЫХ ГРАБЛЕЙ СЕНА	76
Акопян Оганес Тельманович	



38	<b>Секция 6. Технология продовольственных</b>	<b>87</b>
38	<b>продуктов</b>	
	ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС СУШКИ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКТА	87
	Хазимов Канат Мухатович Хазимов Жанат Мукатович Сагындыкова Акмарал Данабековна Хазимов Марат Жалелович	
49	<b>Секция 7. Технология материалов и изделий</b>	<b>96</b>
	<b>легкой промышленности</b>	
	ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН	96
	Баландина Елена Александровна	
	СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ТРАНСФОРМАЦИОННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ОДЕЖДЫ	101
59	Баландина Елена Александровна Гришкова Елена Юрьевна	
	<b>Секция 8. Приборостроение, метрология,</b>	<b>106</b>
	<b>радиотехника</b>	
65	АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СЕТЕЙ СТАНДАРТА IEEE 802.11N В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK	106
65	Онянов Дмитрий Андреевич	
	ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ	111
70	Сидоров Алексей Дмитриевич Корольков Леонид Валерьевич Моисеев Дмитрий Михайлович Егоров Александр Леонидович Дьячковский Алексей Сергеевич	
76	<b>Секция 9. Методология и философия науки</b>	<b>121</b>
	<b>и техники</b>	
76	МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОКУПАТЕЛЕЙ КРОССОВЕРОВ	121
	Шилин Владимир Владимирович Сулопарова Елена Николаевна	

### СЕКЦИЯ 3.

## АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

### РАЗРАБОТКА КАЗАХСТАНСКОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА

**Елубаев Сулеймен Актлеуович**

заведующий лабораторией имитационного моделирования  
и разработки космических систем,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [elubaev.s@istt.kz](mailto:elubaev.s@istt.kz)

**Тен Владимир Валентинович**

ведущий научный сотрудник,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [ten.v@istt.kz](mailto:ten.v@istt.kz)

**Альбазаров Бахытжан Шапагатович**

ведущий научный сотрудник,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [albazarov.b@istt.kz](mailto:albazarov.b@istt.kz)

**Сарсенбаев Ербол Ерикович**

старший научный сотрудник,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [sarsenbayev.e@isst.kz](mailto:sarsenbayev.e@isst.kz)

**Алипбаев Куаныш Арингожаевич**

заместитель заведующего лабораторией,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [alipbayev.k@istt.kz](mailto:alipbayev.k@istt.kz)

**Шамро Александр Валентинович**

заведующий сектором,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [shamro.a@istt.kz](mailto:shamro.a@istt.kz)

**Бопеев Тимур Маратович**

заведующий сектором,  
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,  
Республика Казахстан, г. Алматы  
E-mail: [bopayev.t@istt.kz](mailto:bopayev.t@istt.kz)

## **DEVELOPMENT OF STAR TRACKER OF KAZAKHSTAN**

**Suleimen Yelubayev**

head of laboratory of space system simulation and development,  
AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty

**Vladimir Ten**

leading researcher, AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty

**Bakhytjan Albazarov**

leading researcher, AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty

**Erbol Sarsenbayev**

senior researcher, AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty

**Kuanysh Alipbayev**

deputy head of the laboratory,  
AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty

*Alexander Shamro*

*sector manager, AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty*

*Timur Bopayev*

*sector manager, AALR "Institute of space technique and technology",  
Republic of Kazakhstan, Almaty*

#### **АННОТАЦИЯ**

В настоящее время в Казахстане уделяется большое внимание созданию самостоятельной космической отрасли. Запущено два спутника дистанционного зондирования Земли, ведутся проекты по разработке компонентов системы управления движением и навигации космических аппаратов. Одним из таких компонентов является звездный датчик, представляющий собой высокотехнологичный прибор для точного определения ориентации космического аппарата. В данной статье рассматриваются основные этапы его проектирования и разработки.

#### **ABSTRACT**

Great attention to the creation of an independent space industry is paid in Kazakhstan at present. Two satellites for Earth remote sensing were launched, projects on development of components for satellite's attitude determination and control system are carried out. Star tracker is one of such components. It is a high-tech device for accurate determination of satellite's attitude. This article discusses the basic stages of design and development of star tracker.

**Ключевые слова:** космический аппарат; звездный датчик; опытный образец.

**Keywords:** satellite; star tracker; prototype.

#### **Введение**

Создание космических систем дистанционного зондирования Земли является основной тенденцией развития космической отрасли в Казахстане. Относительно недавно успешно произведен запуск двух казахстанских спутников ДЗЗ, разработанных совместно с французской компанией EADS Astrium и великобританской компанией Surrey Satellite Technology Ltd. В будущем в Казахстане планируется разрабатывать КА ДЗЗ своими силами. В связи с этим приобретает актуальность разработка собственных отечественных комплектующих



и компонентов для спутников, одним из которых является звездный датчик.

Силами отечественных специалистов в Казахстане разрабатывается собственный звездный датчик. На первом этапе разработан его экспериментальный образец. Основной целью данного этапа является отработка основных режимов работы и программно-математического обеспечения звездного датчика, который имеет следующие характеристики: поле зрения — 20 градусов, точность определения ориентации в плоскости XY — 15 уг.сек., точность определения ориентации вокруг оптической оси Z — 50 уг.сек., частота обновления информации — 2 Гц, минимальный угол между оптической осью и Солнцем — 40 градусов, масса звездного датчика — 1,435 кг.

На следующем этапе на его основе планируется разработать опытный образец звездного датчика для последующего его использования на казахстанских космических аппаратах.

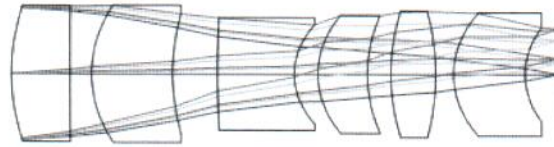
Определение требований и проектирование звездного датчика

Наибольшую трудность при создании звездного датчика представляет разработка бортового программного обеспечения. Поскольку звездный датчик должен позволять определять угловое положение космического аппарата с точностью до нескольких угловых секунд, то программное обеспечение должно определять координаты звезд с большой точностью, что накладывает определенные требования на основные компоненты звездного датчика: оптическую систему, детектор, блок электроники.

Для изготовления оптической системы звездного датчика разработаны следующие требования: поле зрения — 20 градусов; диаметр входного зрачка — 25 мм; диаметр пятна рассеяния — 85 % энергии в 39 мкм [1, с. 237]; минимальный угол между направлениями оптической оси звездного датчика и на Солнце — 40 градусов; изображение каждой звезды должно быть дефокусировано в виде пятна диаметром 5—6 пикселей. Также определены требования к бленде, детектору и компонентам блока электроники звездного датчика.

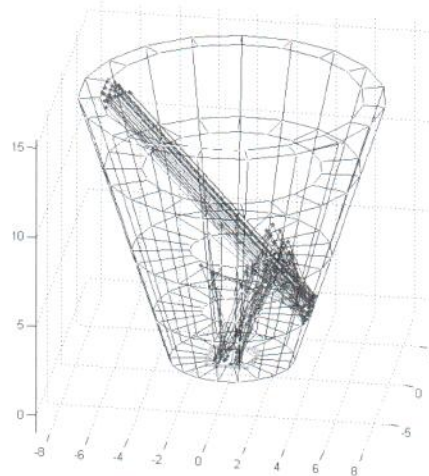
В рамках проектирования звездного датчика с учетом полученных требований произведен выбор оптической схемы звездного датчика. Для этого были рассмотрены три варианта оптической системы, для каждого из которых с помощью программной системы ZEMAX исследовано изменение качественных характеристик оптических систем. В результате выбор был определен в пользу шестилинзовой оптической системы (рисунок 1), так как она позволяет компенсировать большинство aberrаций, а значения основных качественных параметров оптической системы не уступают значениям

данных параметров у других вариантов оптических систем. На основе полученных данных разработан чертеж конструкции объектива экспериментального образца звездного датчика.



*Рисунок 1. Шестилинзовая оптическая система*

Для проектирования бленды проведено моделирование в среде Matlab нежелательной засветки от Солнца для предельного угла его от оптической оси в 40 градусов (рисунок 2). При компьютерном моделировании для определения направления последующего после отражения хода луча использован метод Монте-Карло. Полученные результаты анализа моделирования позволили разработать чертеж конструкции бленды экспериментального образца звездного датчика.



*Рисунок 2. Моделирование нежелательной засветки звездного датчика*

Также на этапе проектирования звездного датчика были проведены работы по выбору его детектора и оборудования блока электроники. В качестве детектора экспериментального образца звездного датчика выбран КМОП-детектор CIS2051. При минимальном биннинге 2x2 пикселя (группировка пикселей в большие виртуальные пиксели) отношение сигнал — шум равно 7.91, чего более чем достаточно для уверенной фильтрации шумов и точного определения центроидов изображений звезд.

В качестве процессорного модуля блока электроники экспериментального образца звездного датчика рассматривалось три варианта — SBC 1651, Q6, Mars ZX3. В результате был выбран модуль Mars ZX3, который сочетает в себе двухядерный процессор ARM Cortex A9 и ПЛИС Artix-7. Процессор содержит необходимый объем памяти, кроме того связь ЦП и ПЛИС посредством высокоскоростной шины AMBA обеспечивает гибкую настройку системы и высокую пропускную способность данных.

Разработка звездного датчика

Оптическая система экспериментального образца звездного датчика полностью разработана своими силами в Институте космической техники и технологий (г. Алматы) и представлена на рисунке 3.



*Рисунок 3. Оптическая система экспериментального образца звездного датчика*

Для изготовления линз оптической системы звездного датчика использовано оптическое стекло различных производителей. Для контроля качества полировки линз, соблюдения их геометрических параметров, точности установки элементов оптической системы было



использовано следующее оборудование: теневой прибор, автоколлимационный радиусомер, прибор для измерения косины, толщиномер. Погрешности данного оборудования были следующие:

- теневой прибор — чувствительность к отклонению от сферической поверхности  $1/50$  длины волны света;
- автоколлимационный радиусомер позволяет измерять радиус кривизны вогнутых поверхностей, с точностью порядка  $0,02—0,05$  мм;
- косиномер, для измерения разнотолщинности (косины) линзы по краю, имеет чувствительность метода порядка  $3$  мкм;
- толщиномер, для измерения толщины линзы на оси, имеет точность измерения  $0,005—0,01$  мм.

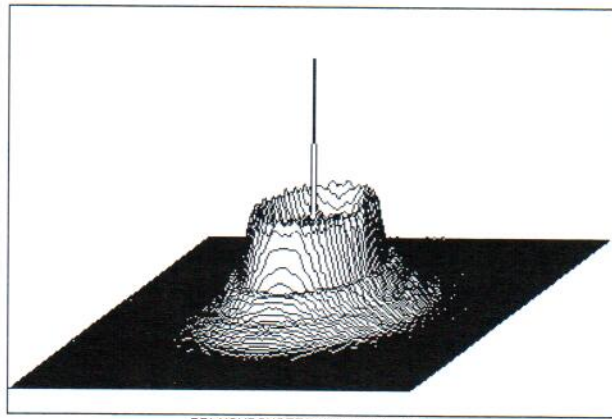
Измеренные величины, изготовленной оптической системы были введены в программном обеспечении Zemax и проведен анализ характеристик созданной системы (рисунок 4, 5). Анализ представленных рисунков показывает, что созданная система отвечает предъявляемым требованиям по размеру пятна рассеяния.

Верификация оптической системы экспериментального образца звездного датчика проводилась путем съемки ночного неба в условиях высокогорья (высота над уровнем моря около  $2700$  м) без влияния посторонней засветки. Съемка проводилась при различных выдержках: от  $0,2$  до  $0,8$  сек различных частей ночного неба. Проведен анализ полученных изображений звезд на их размер на фокальной плоскости. На рисунке 6 приводится функция рассеяния точки, соответствующая одной из звезд средней яркости.



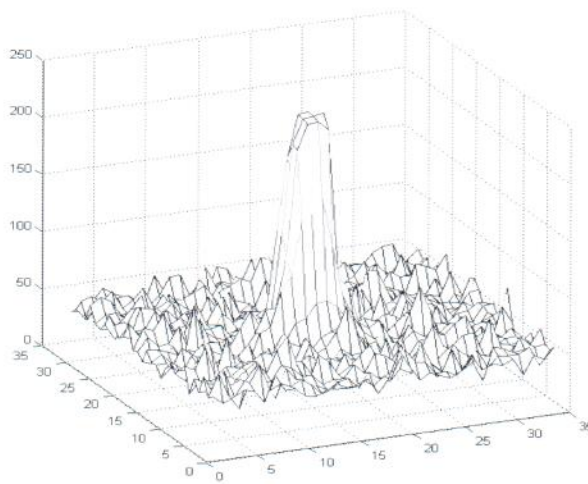
**Рисунок 4. Изображения точки в зависимости от угла поля зрения, получаемые созданной оптической системой**





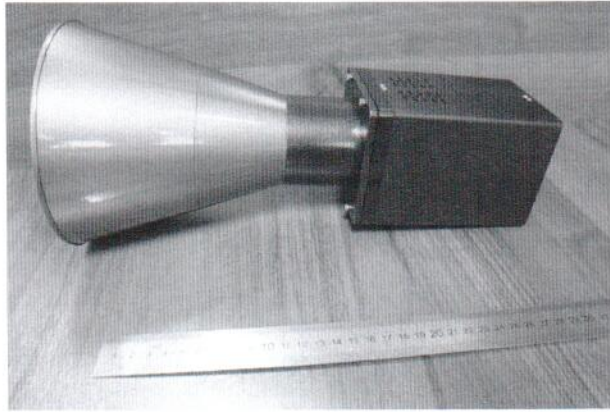
POLYCHROMATIC HUYGENS PSF

*Рисунок 5. ФРТ на оси созданной оптической системы*



*Рисунок 6. ФРТ одной из звезд средней яркости. Интенсивность принимаемого излучения — ось Z, пикселя матрицы — плоскость XY*

Бленда экспериментального образца звездного датчика изготовлена на основе анализа результатов моделирования хода лучей и приведена на рисунке 7.



**Рисунок 7. Экспериментальный образец звездного датчика с blendой**

Программно-математическое обеспечение экспериментального образца звездного датчика базируется на алгоритмах предварительной обработки изображения, распознавания звезд и определения ориентации. Его общая схема приведена на рисунке 8.



**Рисунок 8. Общая схема программно-математического обеспечения звездного датчика**

Получение исходного изображения производится на основе обработки выходных данных детектора звездного датчика. В результате изображение представляет собой матрицу пикселей (F) с интенсивностью в определённом диапазоне длин волн.

После получения исходного изображения производится его бинаризация, которая представляет собой процесс преобразования исходного изображения в бинарное. Для проведения бинаризации используются пороговые значения бинаризации, которые вычисляются динамически для каждого полученного изображения, позволяют исключить на изображении излишнюю информацию и выделить контуры объектов.

На следующем этапе после бинаризации производится фильтрация изображения с помощью медианного фильтра [2, с. 234], в результате которой на бинарном изображении исключаются шумы и дефекты изображения.

Далее производится локализация псевдозвезд, которая заключается в выделении связанных областей путем обхода изображения специальной маской. После этого производится определение центроидов псевдозвезд (координаты их центров).

Здесь необходимо отметить, что бинаризация, фильтрация и локализация псевдозвезд выполняется на ПЛИС, так как они представляют собой операции, требующие высоких вычислительных мощностей.

После того, как на изображении выделены псевдозвезды и сформирован массив их центроидов, он отправляется в центральный процессор, где производится распознавание псевдозвезд путем их сопоставления со звездным каталогом. Как правило, распознавание производится по каким-либо конфигурациям псевдозвезд. В данном случае для распознавания используется три псевдозвезды ( $T_{тек}$ ). При этом для каждой пары псевдозвезд, входящих в тройку, рассчитываются угловые расстояния ( $\theta$ ), которые сопоставляются с угловыми расстояниями звезд в звездном каталоге с помощью метода К-вектор [3, с. 450], который прошел успешную проверку на космических аппаратах и имеет намного лучшее быстродействие по сравнению с традиционными методами поиска, например, методами бинарного поиска.

В результате проведения распознавания становятся известны координаты трех звезд в системе координат звездного датчика и соответствующие им инерциальные координаты в звездном каталоге. Определение ориентации звездного датчика в инерциальной системе координат производится на базе соотношения, связывающего координаты распознанных звезд в поле зрения звездного датчика и соответствующие им координаты звезд в звездном каталоге.

Для тестирования программно-математического обеспечения звездного датчика разработан программный имитационный комплекс, позволяющий имитировать процесс получения изображения звездным



датчиком с учетом помех и шумов, обусловленных работой детектора и погрешностями оптической системы, а также с учетом динамики самого звездного датчика. Данный программный имитационный комплекс позволил сравнить ориентацию звездного датчика, полученную с помощью его программного обеспечения с ориентацией звездного датчика, полученной с помощью модели динамики звездного датчика, заложенной в имитационный комплекс. В результате сравнения проведена оценка точности определения ориентации звездного датчика с помощью его программного обеспечения. Точность определения ориентации оптической оси звездного датчика составила 18,5673 уг.сек, точность определения угла поворота вокруг оптической оси — 21,4973 уг.сек. Данные показатели соответствуют требованиям к звездному датчику и тем самым свидетельствуют об адекватности работы его программного обеспечения, что дает основание для его использования на экспериментальном образце звездного датчика.

#### **Заключение**

В статье рассмотрены основные этапы разработки экспериментального образца звездного датчика для космических аппаратов. Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о приемлемом качестве изготовления и работы программного обеспечения экспериментального образца звездного датчика, что дает основание использовать его в качестве основы для разработки опытного образца звездного датчика.

#### **Список литературы:**

1. Молдабеков М.М., Елубаев С.А., Алипбаев К.А., Бопеев Т.М., Сухенко А.С. Разработка оптической системы звездного датчика для космических аппаратов // Материалы Международной научной конференции «Решетневские чтения». Красноярск, 12—14 ноября 2013 г. — С. 237—238.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 784 с.
3. Mortari D. K-vector range searching techniques // Adv. Astronaut. Sci. — 2000. — № 105. — P. 449—464.