

ния. Такая система управления совместима с самыми разными светильниками. Использование в осветительных системах мастер-контроля DALI-TIMER-DIN позволят обеспечить управление в соответствии с алгоритмом, включающим шестнадцать временных точек. С его помощью отдельно взятому промежутку времени задают индивидуальное значение светового потока. Даже если случится сбой в поступлении энергии, отсчет времени продолжается с сохранением настроек. Это возможно благодаря наличию внутри системы запасного источника питания [2]. Один из вариантов типовой схемы управления освещением с применением протокола DALI показан на рис. 1 [3].

Биодинамический светильник позволяет реализовывать дополнительную функцию – обеззараживать рабочее помещение. Для этого в него встраивается бактерицидная лампа. Она автоматически включается, когда в помещении нет людей.

Бактерицидная (ультрафиолетовая) лампа имеет колбу из *увиолевого* стекла с повышенной пропускной способностью ультрафиолета с длинами волн 200–300 нм. Такое УФ-излучение называют «мяг-

ким». Оно обладает обеззараживающими свойствами (нейтрализует бактерии, вирусы, плесень, дрожжи и т.д.) и минимизирует образование озона и вредное воздействие на глаза и кожу человека.

Таким образом, биодинамическое освещение является наиболее перспективным типом освещения, однако имеет ряд проблем, таких как:

- 1) сложность реализации проекта в зависимости от типа помещения и его назначения
- 2) отсутствие типовых решений требует значительных затрат, в сравнении с традиционным освещением.

Литература

1. Установка биодинамического освещения для современного дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://right-level.ru/>. – Дата доступа: 10.09.2022.
2. Система управления освещением DALI на примере продукции IEK GROUP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru>. – Дата доступа: 10.09.2022.
3. Биодинамическое освещение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elec.ru>. – Дата доступа: 18.09.2022.

УДК 531.383

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ВОЛНОВЫМ ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ ГИРОСКОПОМ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ

Матвеев В.В., Хомячкова А.Н., Кирсанов М.Д.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Аннотация. Приводятся описание системы ориентации малого космического аппарата (МКА). Система ориентации содержит датчик ориентации на небесное светило, волновой твердотельный гироскоп в качестве датчика угловой скорости, микроконтроллер и двигатель-маховик в качестве исполнительного органа. Дана конструктивная схема волнового твердотельного гироскопа. Приводится описание алгоритмов функционирования системы ориентации МКА.

Ключевые слова: малый космический аппарат, волновой твердотельный гироскоп, система ориентирования.

ORIENTATION SYSTEM OF A SMALL SPACE VEHICLE WITH A WAVE SOLID-STATE GYROSCOPE IN THE CONTROL LOOP

Matveev V., Khomyachkova A., Kirsanov M.

Tula State University
Tula, Russian Federation

Abstract. A description of the attitude control system of a small spacecraft (SSC) is given. The orientation system contains an orientation sensor to a celestial body, a wave solid-state gyroscope as an angular velocity sensor, a microcontroller and a flywheel motor as an executive body. A constructive scheme of a wave solid-state gyroscope is given. A description of the algorithms for the operation of the SSC attitude control system is given.

Key words: small spacecraft, wave solid-state gyroscope, orientation system.

Адрес для переписки: Матвеев В.В., пр. Ленина, 95, Тула 300012, Российская Федерация
e-mail: matweew.valery@yandex.ru

Введение. Сегодня малые космические аппараты с массой до 1000 кг позволяют решать разнообразные задачи: мониторинг атмосферы Земли и радиации в околоземном пространстве, навигации и связи, сбора и передачи данных и др. Для реализации функциональных задач МКА необходима

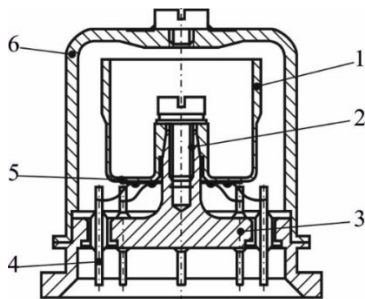
определенная ориентация корпуса МКА в космическом пространстве относительно Земли, Солнца или других ориентиров. Решение данной задачи обеспечивается системой ориентации МКА, которая реализуется с помощью датчиков, вычислительного устройства и исполнительных органов.

К функциям системы ориентации, как правило, также относится и задача стабилизации, т.е. удержание МКА в заданном положении.

В работе приводится описание системы ориентации МКА с волновым твердотельным гироскопом в контуре управления угловым положением.

Волновой твердотельный гироскоп.

В волновом твердотельном гироскопе (ВТГ) используется свойство инерции стоячей волны, возбуждаемой в полусферической или цилиндрической оболочке. Типовая конструкция волнового твердотельного гироскопа (рис. 1) имеет металлический резонатор 1 устанавливается на основание 3 при помощи винта 2 [1]. Четыре пары пьезоэлементов 5 наклеиваются на дно резонатора равномерно через 45° . Пьезоэлементы при помощи токоподводов подключаются к гермовыводам 4. Резонатор закрывается кожухом 6 и вакуумируется.



1 – резонатор; 2 – винт; 3 – основание; 4 – гермовывод; 5 – пьезоэлементы; 6 – кожух

Рисунок 1 – ВТГ с металлическим резонатором

Первые две пары пьезоэлементов служат для возбуждения стоячей и контроля резонансного режима, две другие – для съема информации об угловой скорости МКА и реализации компенсационной обратной связи.

Преимуществом ВТГ по сравнению с классическими гироскопами является простота конструкции, высокая точность и отсутствие подвижных частей, что позволяет создавать приборы длительного ресурса работы.

Макетный образец МКА. На рис. 2 приведен макетный образец малого космического аппарата с волновым твердотельным гироскопом в контуре управления, реализующий один из трех каналов системы ориентации. Одним из режимов функционирования МКА является стабилизация его корпуса в космическом пространстве [2]. При выводе на орбиту МКА может совершать беспорядочные вращения, которые должны быть устранены системой ориентации

ВТГ измеряет угловую скорость МКА и определяет направление вращения. Сигнал ВТГ подается в контроллер, который управляет двигате-

лем-маховиком. Вращение маховика обеспечивается двигателем постоянного тока, а величина его угловой скорости определяется скважностью широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала. В основе систем ориентации с помощью двигателей-маховиков лежит свойство сохранения момента импульса, заключающееся в том, что при придании двигателю-маховику на борту угловой скорости в одном направлении, МКА получает угловую скорость в другом направлении, что может быть описано уравнением:

$$J_{\text{МКА}}\omega_{\text{МКА}} = -J_{\text{М}}\omega_{\text{М}}, \quad (1)$$

где $J_{\text{МКА}}$, $J_{\text{М}}$ – моменты инерции МКА и маховика соответственно; $\omega_{\text{МКА}}$, $\omega_{\text{М}}$ – угловые скорости соответственно МКА и маховика.



1 – волновой твердотельный гироскоп; 2 – двигатель маховик

Рисунок 2 – Макет малого космического аппарата с одноосной системой ориентации

В соответствии с уравнением (1) для решения задачи стабилизации МКА необходимо вращать маховик в ту же сторону, куда вращается корпус МКА.

На рис. 3 приведена экспериментальная кривая гашения угловой скорости МКА при начальной закрутке равной $67^\circ/\text{с}$.

Другим режимом функционирования системы ориентации является ориентированием на небесное светило [3, 4]. В этом случае управление двигателем-маховиком осуществляется по углу и угловой скорости, что позволяет реализовать пропорционально-дифференцирующий закон управления

$$U = k_{\alpha}\alpha + k_{\omega}\omega, \quad (2)$$

где k_{α} , k_{ω} – коэффициенты пропорциональности по углу и угловой скорости соответственно. Сигнал об угле отклонения от небесного светила формирует датчик Солнца (на рис. 2 не показан).

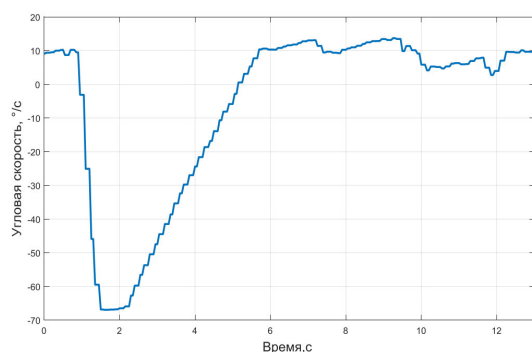


Рисунок 3 – Процесс стабилизации угловой скорости МКА при начальной закрутке 67 °/с

Закключение. Дано описание системы ориентации малого космического аппарата с волновым твердотельным гироскопом в контуре управления и двигателем-маховиком в качестве органа управления. Иллюстрируется процесс гашения угловой скорости МКА при его начальной закрутке.

УДК 531.385

ДИНАМИКА КАНАЛА ВЫСОТЫ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА

Малютин Д.М.¹, Адякин Ю.Н.²

¹ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

²ПАО «НПО «Стрела» Тула, Российская Федерация

Аннотация. В работе приведены математическая модель канала высоты опорно-поворотного устройства, закон изменения сигнала задатчика, структура построения усилительно-преобразующего тракта и результаты исследования динамики этого канала.

Ключевые слова: следящая система, двигатель, редуктор, опорно-поворотное устройство.

DYNAMICS OF THE CHANNEL OF HEIGHT ROTARY DEVICE

Malyutin D.¹, Adjakin J.²

¹Tula state university

²PAO NPO «Arrow»

Tula, Russian Federation

The summary. In work the mathematical model of the channel of height of the опорно-rotary device, the law of change of a signal, structure of construction a path and results of research of dynamics {changes} of this channel are resulted {brought}.

Keywords: watching {keeping up} system, the engine, a reducer, the опорно-rotary device.

Адрес для переписки: Малютин Д.М., пр. Ленина 92, Тула 300002, Российская федерация
e-mail: MalyutinDM@yandex.ru

Опорно-поворотные устройства (ОПУ) предназначены для дистанционного изменения направления оптической оси телевизионной системы с изменяемой скоростью по командам оператора в двух плоскостях (вертикальной и горизонтальной), а также управления углом обзора и фокусировкой видеокамеры [1–4]. Также ОПУ широко применяются в радиолокации для дистанционного управления положением антенн радиолокационных станций (РЛС). Если азимутальный канал ОПУ может быть реализован по классической схеме следящей системы [4], то при работе

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания по теме «Развитие теории инерциальных датчиков первичной информации для навигационных систем высокоманевренных летательных аппаратов (FEWG-2022-0002)».

Литература

1. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором: монография / В. Я. Распопов [и др.] : под ред. В. Я. Распопова. – Тула: ТулГУ, 2018. – 189 с.
2. Летные испытания алгоритмов управления ориентацией микроспутника «Чибис-М» / Д. С. Иванов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2012. – № 58. – 32 с.
3. Федосеев, В. И. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов: учеб. пособие / В. И. Федосеев, М. П. Колосов. – М.: Логос, 2007. – 248 с.
4. Ивандиков, Я. М. Оптические приборы наведения и ориентации космических аппаратов / Я. М. Ивандиков. – М. Машиностроение, 1979. – 208 с.

вертикального канала имеются особенности, обусловленные тем, что центр масс нагрузки находится выше оси вращения. В системе присутствует верхняя маятниковость. Целью работы является разработка математической модели вертикального канала ОПУ, разработка закона изменения сигнала задатчика и структуры построения усилительно- преобразующего тракта, обеспечивающих высокую точность перемещения и скорость управления нагрузки.

Математическую модель канала высоты ОПУ представим в виде: