

СОДЕРЖАНИЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова



МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС

Труды X Общероссийской молодежной
научно-технической конференции

Том 2

18 – 20 апреля 2018 года, Санкт-Петербург, Россия

Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 50

Санкт-Петербург
2018

УДК 623.46: 629.78

M75

M75

Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.2/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 381 с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 50).

ISBN 978-5-907054-31-8

ISBN 978-5-907054-33-2

Представлены статьи и доклады участников X Общероссийской научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», которая прошла 18 – 20 апреля 2018 года в БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (Санкт-Петербург).

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой объектов ракетно-космической техники и аэрокосмических технологий, созданием различных систем вооружения, исследованиями в области информационных технологий, а также с историей ракетно-космической техники и вооружения.

Отзывы направлять в БГТУ «Военмех» по адресу: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1. Редакция журнала «Военмех. Вестник БГТУ».

УДК 623.46: 629.78

Редакционный совет: д-р техн. наук, проф. К. М. Иванов, д-р техн. наук, проф. В. А. Бородавкин,
канд. техн. наук, доц. А. А. Левихин, ст. преп. К. А. Афанасьев, доц. М. Н. Охочинский,
ст. преп. С. А. Чириков, А. В. Побелянский

Ответственный редактор серии
«Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ»
М.Н. Охочинский

Материалы опубликованы в авторской редакции

Подписано к печати 25.06.2018. Формат бумаги 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 47.625. Тираж 130 экз. Заказ № 28
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Типография ООО «Издательство ИНФО-ДА»
С.-Петербург, Столярный пер., д. 10/12

ISBN 978-5-907054-31-8
ISBN 978-5-907054-33-2

© БГТУ «Военмех», 2018
© Авторы, 2018

В. М. Перепелкин, О. В. Веселов ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМС ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В СРЕДЕ MATLAB	185
А. С. Попов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	191
СЕКЦИЯ №6. РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА	195
О. И. Акулов, И. А. Романенко, И. А. Целищев, О. В. Ширококов РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГЕКСАПОДА	194
А. А. Алексеев, А. В. Горбунов, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян ЛИНЕЙНЫЙ ПРИВОД ГЕКСАПОДА С ФУНКЦИЕЙ АКТИВНОГО ВИБРОГАШЕНИЯ	196
А. М. Арбиев ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D ПЕЧАТИ, ЭКСТРУДЕРЫ ИННОВАЦИОННОГО ТИПА	200
А. В. Баталов, В. А. Немонтов УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА КРУГОВОГО ОБЗОРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА	204
В. В. Батенькин, Г. Г. Коновалов РАЗРАБОТКА ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ОПТИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СО ₂	209
В. О. Гончаров, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян, А. В. Четвертухин СИСТЕМА БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ПРИВОДОМ	212
И. О. Григорьев МАНИПУЛЯТОРНОЕ УСТРОЙСТВО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	217
И. О. Гришкевич, С. Н. Мухаммедов, А. И. Плехотнюк, Б. Н. Савельев НАГРУЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ	223
О. И. Желтышев, В. И. Тимофеева, Г. Т. Джгмадзе МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ	226
О. И. Желтышев, А. О. Турбов, В. В. Зыбина, А. И. Глухих СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ СТРАГИВАНИЯ ШТОКА ЛИНЕЙНОГО ПРИВОДА	230
Ю. В. Жигулина, А. В. Киев, А. А. Киселев, М. И. Надеждин СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	234
И. А. Загородний ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РОБОТОТЕХНИКЕ У ДЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ С КОНСТРУКТОРАМИ LEGO WEDO 1.0, LEGO WEDO 2.0	239
А. А. Кобзев, А. В. Лекарева, О. С. Сидорова ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ С КОМПЛЕМЕНТАРНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	242
А. А. Кобзев, О. С. Сидорова, А. В. Лекарева БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУКИ ОПЕРАТОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	249
К. В. Коптелова, Ю. Е. Мишулин МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА	255

При отработке оптического концевого датчика линейного привода контролируемым значением измерения является момент определения точки А (рисунок 5), соответствующей первому достижению максимального значения выходного сигнала, свидетельствующего достижению диска контрольного положения. В точке А расстояние между поверхностью датчика и поверхностью алюминиевого диска однозначно определено. Дальнейшее движения штока невозможно регистрировать с помощью датчика, так как контрольный диск переходит в мертвую зону датчика, нет возможности с достаточной точностью определить положение штока линейного транслятора.

Для проверки точности срабатывания оптического концевого датчика измерено расстояние от нулевого до контрольного положения штока. Затем в программу управления линейного транслятора введено измеренное значение перемещения и проведена серия измерений с целью добиться повторяемости результатов. При испытаниях регистрировался диапазон положений штока линейного привода, при котором происходило достижение точки А. В результате был получен набор контрольных точек с наибольшей разницей по перемещению штока, согласно измеренным значениям, точность определения приближения поверхности контрольного диска составляет 0,015 мкм. При заданной максимальной погрешности измерения в 100 мкм, датчик выполняет поставленную задачу и может быть использован в качестве концевого оптического датчика линейного привода. Повышении точности измерений может быть достигнуто увеличением дискретности аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера, подстройкой электрической схемы подключения датчика, тарировкой датчика по месту установки в линейном приводе с учётом коэффициентов отражения окружающих поверхностей.

Заключение.

Разработанный стенд успешно применен для отработки оптических концевых датчиков торцевого расположения, исследования оптических датчиков подтвердили правильный выбор концевых датчиков и их применимость для установки в линейный привод. Используемая система измерения и регистрации данных не позволяет с достаточной точностью измерить усилие страгивания штока линейного привода в подшипнике. Для повышения точности измерений, увеличения разрешения по времени, планируется модернизация системы управления элементами стенда и измерительной системы.

Библиографический список

1. Горбунов А. В., Коротков Е. Б., Слободзян Н. С. Высокоточная система наведения и ориентации космических бортовых приборов на базе гексапода с пространственным датчиком положения. Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 42–47
2. Михин Н.М. Внешнее трение твёрдых тел. - Москва: Издательство «НАУКА», 1977. – 224 с.
3. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 528 с.: ил.
4. Чичинадзе А.В. Полимеры в узлах трения машин и приборов. Справочник. Москва: Машиностроение, 1980. – 208с., ил.
5. Оптический датчик приближения Vishay VCNT2020. Технические характеристики. 2017. 7 с. [Электронный ресурс]. Дата обращения: 15.02.2018. Адрес доступа: <http://www.vishay.com/docs/84285/vcnt2020.pdf>
6. Оптический датчик приближения Vishay VCNT2020. Рекомендации по использованию. 2016. 10 с. [Электронный ресурс]. Дата обращения: 15.02.2018. Адрес доступа: <https://www.vishay.com/docs/84395/designingvcnt2020.pdf>

УДК 681.5

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю. В. Жигулина, А. В. Киев, А. А. Киселев, М. И. Надежин*

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

Введение

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160.

Как видно из подвижной платформ (стоек). Каждая платформа с помо

Система управл выполнять свои фу радиационное излу решения, которые обе СУГ состоит из программного обеспе Будем рассматри основания, одной ли ног. Введём неподви координат $O'X'Y'Z'$. Положение центра O помощью декартовых θ, ψ - первой систем платформы задаются

Решение обратн Обратная задача ног – гексапода для за Для связи между используем матрично

где r – вектор одн однородных координ преобразования в одн

где $P = [x, y, z]^T$ - поворота.

Для решения ОЗ шарниров основания

Как видно из рисунка 1, конструктивно гексапод состоит из неподвижного основания 2 и подвижной платформы 1, которые соединены посредством шести идентичных звеньев – ног (штанг, стоек). Каждая нога состоит из двух полуштанг 3 и 4, которые соединяются с основанием и платформой с помощью шарниров 5 и 6 соответственно.

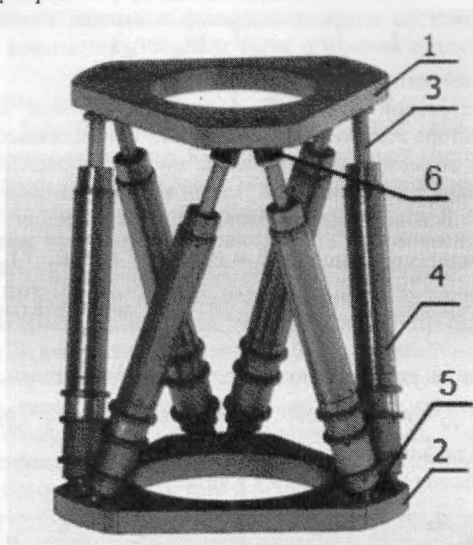


Рис. 1. Конструкция гексапода

Система управления гексаподом (СУГ) имеет сложную структуру, так как должна адекватно выполнять свои функции в условиях космоса: высокий диапазон температур и давлений, радиационное излучение, космическая пыль и т.д. Вследствие этого необходимы технические решения, которые обеспечат надёжность всех составляющих СУГ.

СУГ состоит из двух частей: аппаратной и программной. Программная часть СУГ состоит из программного обеспечения, в основе которого лежит решение задач кинематики гексапода.

Будем рассматривать кинематическую схему гексапода с двухосевыми шарнирами платформы и основания, одной линейной и одной вращательной (вокруг своей оси) степенью свободы в каждой ноге. Введём неподвижную систему координат $OXYZ$, связанную с основанием и подвижную систему координат $O'X'Y'Z'$, связанную с платформой, с центрами в точках O и O' соответственно. Положение центра O' платформы относительно неподвижной системы координат определим с помощью декартовых координат x, y, z . Для определения ориентации платформы используем углы φ, θ, ψ – первой системы углов Эйлера. Таким образом, линейное положение и угловая ориентация платформы задаются вектором: $q = [x, y, z, \varphi, \theta, \psi]$.

Решение обратной задачи кинематики

Обратная задача кинематики (ОЗК) заключается в нахождении обобщённых координат – длин ног – гексапода для заданного вектора положения и ориентации q .

Для связи между абсолютной неподвижной и относительной подвижной системами координат используем матричное преобразование в однородных координатах:

$$r = T \times r' \quad (1)$$

где r – вектор однородных координат точки в неподвижной системе координат, r' – вектор однородных координат той же точки относительно подвижной системы координат, а T – матрица преобразования в однородных координатах:

$$T = \begin{pmatrix} R & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где $P = [x, y, z]^T$ – вектор, описывающий положение подвижной системы координат, R – матрица поворота.

Для решения ОЗК необходимо найти для каждой ноги расстояние между точками крепления шарниров основания и платформы. Обозначим их соответственно A_i и B_i ($i = 1..6$). Таким образом,

вычислив на основании (1) вектор однородных координат i -го шарнира платформы r_{Bi} и зная вектор однородных координат i -го шарнира основания r_{Ai} в системе координат OXYZ, легко находится длина i -ой ноги:

$$L_i = \sqrt{(r_{Ai} - r_{Bi})^T \times (r_{Ai} - r_{Bi})}.$$

Решение прямой задачи кинематики

Для механизма с параллельной кинематикой решение прямой задачи кинематики (ПЗК) заключается в нахождении вектора положения и ориентации при заданных длинах ног и на практике гораздо сложнее ОЗК, так как возможно существование множества решений для заданных длин ног. Существует множество подходов к решению ПЗК, среди которых выбран итерационный численный метод Ньютона-Рафсона на основе кватернионов. С точки зрения математики кватернионы представляют собой гиперкомплексное число $-e = e_0 + e_1 * i_1 + e_2 * i_2 + e_3 * i_3$, где i_1, i_2, i_3 – комплексные единицы Гамильтона; e_0, e_1, e_2, e_3 – действительные числа, называемые компонентами кватерниона.

При решении ПЗК на основе кватернионов исходной конфигурацией гексапода является вектор $q = [x, y, z, e_0, e_1, e_2, e_3]^T$, в котором параметры $e_0 - e_3$ представляют кватернион, описывающий ориентацию подвижной платформы.

Тогда метод Ньютона-Рафсона представляется в виде:

$$\tilde{q}_k = \tilde{q}_{k-1} - \bar{F}(\tilde{q}_{k-1}) \times (L(\tilde{q}_{k-1}) - L_r),$$

где \tilde{q}_k – оценка конфигурации на текущем шаге итерации, \tilde{q}_{k-1} – оценка конфигурации на предыдущем шаге, $\bar{F}(\tilde{q}_{k-1})$ – псевдообратная матрица Якоби на предыдущем шаге, $L(\tilde{q}_{k-1})$ – решение ОЗК (длины ног) на предыдущем шаге.

Применение кватернионного метода обосновано тем, что он даёт стабильное решение прямой задачи с заданной вычислительной погрешностью и малым количеством итераций.

Решение ПЗК и ОЗК реализовано в пакете математического моделирования MATLAB, на основании чего были разработаны алгоритмы управления и разработано программное обеспечение высокого и низкого уровня.

Аппаратная часть системы управления гексаподом

Аппаратно система управления состоит из блока управления гексаподом, модуля управления линейным приводом для каждой ноги гексапода (всего шесть модулей управления), интерфейсов связи и вспомогательной аппаратуры (преобразователи питания, система обогрева и др.).

Блок управления гексаподом (БУГ) состоит, как показано на рисунке 2, из модулей, объединённых общей кросс-платой: модуль контроллера, модуль вторичного источника питания и модуль системы обеспечения теплового режима.



Рис. 2. Схема электрическая структурная блока управления гексаподом

Модуль контроллера бортового компьютера системы электронных получение данных от формирование телематического отправление их бортового интерфейса RS-485.

Основным компонентом специального применен построен на базе высокой 128 Кбайт флэш-памяти микроконтроллера успешно справляться с задач кинематики гексапода.

Модуль контроллера рисунке 3 представлен прокладки, 4 – касет контроллера предусмат плата устанавливается идентичный функциона и резервными каналами соответствии с анализом

Модуль управления привода в заданное в вентильным двигателем вращающийся трансформатора питания, схемы согласования мощности вентильного микроконтроллер (МК). команды/данные и выходы сигналам СКВТ, ШИМ.

Модуль вторичного преобразования входной электроники гексапода и входное напряжение до изолирует входное напряжение самозапитки.

мы r_{Bi} и зная вектор
YZ, легко находится

кинematики (ПЗК)
ах ног и на практике
заданных длин ног.
ационный численный
матики кватернионы
 $*i_3$, где i_1, i_2, i_3 –
числа, называемые

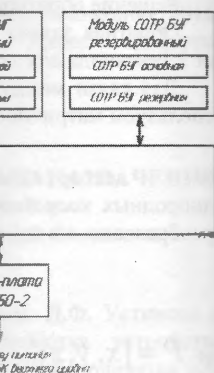
пода является вектор
авляют кватернион,

ка конфигурации на
дем шаге, $L(\tilde{q}_{k-1})$ -

ное решение прямой
й.
вания MATLAB, на
рамное обеспечение

, модуля управления
вления), интерфейсом
а и др.).

нке 2, из модулей,
источника питания и



Модуль контроллера БУГ выполняет следующие функции: получение команд управления от бортового компьютера космического аппарата по магистральному интерфейсу последовательной системы электронных модулей (ГОСТ Р 52070-2003, далее – мультиплексный канала обмена (МКО)), получение данных от МУЛП по интерфейсу RS-485, формирование команд управления для МУЛП, формирование телеметрических данных о функционировании системы управления и гексапода и отправление их бортовому компьютеру, переключение основных и резервных МУЛП и линий связи интерфейса RS-485.

Основным компонентом контроллера БУГ является 32-разрядный RISC-микроконтроллер специального применения 1986BE1T производства АО «ПКК Миландр». Данный контроллер построен на базе высокопроизводительного RISC ядра с тактовой частотой до 144 МГц и содержит 128 Кбайт флэш-памяти программ и 48 Кбайт ОЗУ. Однако использование МКО из-за специфики микроконтроллера вынуждает снижать тактовую частоту до 128 МГц, что, впрочем, не мешает ему успешно справляться со всеми функциями контроллера БУГ, в том числе решение прямой и обратной задач кинематики гексапода.

Модуль контроллера БУГ, как и другие модули, имеет унифицированную конструкцию. На рисунке 3 представлена его трёхмерная модель, где 1 – плата контроллера, 2, 3 – теплопроводящие прокладки, 4 – кассета, 5 – нагревающий элемент, 6 – разъем, 7 – датчик температуры. Канал контроллера предусматривает односторонний монтаж компонентов, с противоположной стороны плата устанавливается на теплопроводящее основание. Основной и резервный каналы имеют идентичный функционал и объединяются в резервированный модуль. Переключение между основным и резервным каналами контроллера производится бортовым компьютером космического аппарата в соответствии с анализом работоспособности того или иного канала.

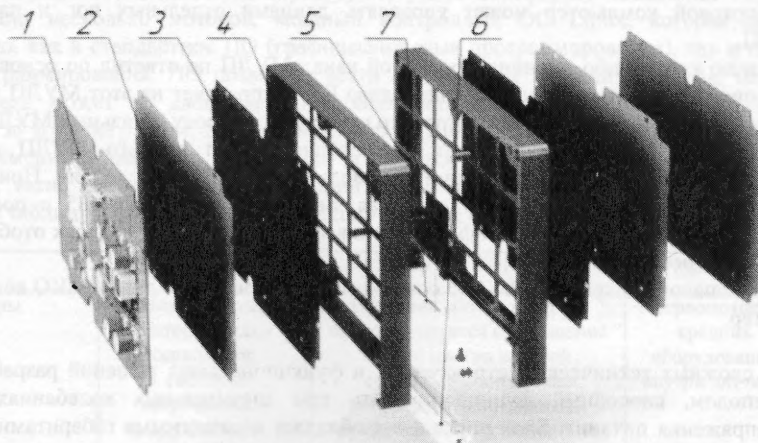


Рис. 3. Устройство модуля контроллера БУГ

Модуль управления линейного привода (МУЛП) предназначен для приведения линейного привода в заданное контроллером БУГ положение. Приведение осуществляется двухфазным вентильным двигателем, в качестве датчика углового положения используется синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ). В состав каждого канала МУЛП входят вторичные источники питания, схемы согласования с датчиками нуля, усилия и температуры, ключевой усилитель мощности вентильного двигателя, усилитель возбуждения и преобразователь сигналов СКВТ, а также микроконтроллер (МК), который принимает/передает в адресном режиме по интерфейсу RS-485 команды/данные и вырабатывает в соответствии с величиной рассогласования, определенной по сигналам СКВТ, ШИМ-сигналы управления двигателем.

Модуль вторичного источника питания (ВИП) блока управления гексаподом выполняет функцию преобразования входного напряжения плюс 20-150 В в необходимые для функционирования электроники гексапода плюс 24 В. ВИП сделан по двухступенчатой схеме. Первая ступень повышает входное напряжение до плюс 170 В и служит аккумулятором энергии для второй ступени, а вторая изолирует входное напряжение от выходного и формирует необходимое напряжение и напряжение самозапитки.

Основной задачей модуля системы обеспечения теплового режима (СОТР) является обогрев всех плат блока управления гексаподом и отключение входного напряжения от ВИП до момента прогрева всех плат. Для решения этой задачи на каждой обогреваемой плате в нижнее плечо делителя напряжения устанавливаются терморезисторы NTC типа. Формируемый уровень напряжения сравнивается компаратором с опорным уровнем и выдается сигнал включения нагревательных элементов при понижении температуры до установленного предела.

Прямая и обратная передачи сигналов от внутренних модулей БУГ на внешние соединители БУГ обеспечиваются с помощью гибких кросс-плат МР1-50-1, МР1-50-2, МР1-50-3, МР1-50-4. Такое техническое решение значительно уменьшает масса-габаритные показатели БУГ по сравнению с использованием традиционных жгутов.

Алгоритм работы модуля контроллера БУГ

В процессе функционирования модуль контроллера БУГ постоянно опрашивает по интерфейсу RS-485 все МУЛП. Происходит это следующим образом: в начале отправляется запрос на чтение данных с основного канала МУЛП-1 по основной линии RS-485. МУЛП-1 отвечает. Принятые данные (координаты линейного привода, температура, усилие и др.) контроллер БУГ записывает в соответствующие подадреса МКО, откуда их в любой момент может прочитать бортовой компьютер. Далее происходит опрос следующих МУЛП. Собирая информацию о координатах всех линейных приводов, контроллер БУГ решает прямую задачу кинематики и записывает, полученные координаты верхней платформы гексапода, в соответствующий подадрес МКО.

Для перевода гексапода в новое положение бортовой компьютер записывает в соответствующий подадрес МКО контроллера БУГ требуемые координаты. Получив их, контроллер решает обратную задачу кинематики и записывает в каждый МУЛП требуемые координаты линейных приводов. Помимо этого, бортовой компьютер может управлять длинами отдельных ног и параметрами регуляторов МУЛП.

В случае, если по каким-либо причинам основной канал МУЛП не ответил по основной линии RS-485 в течение определённого времени, то контроллер БУГ отправляет на этот МУЛП повторный опрос. Если и на него отсутствует ответ, то контроллер переходит к опросу остальных МУЛП. Если не отвечает один МУЛП, а остальные отвечают, то основной канал данного МУЛП признаётся вышедшим из строя и последующие обращения производятся к резервному каналу. При молчании всех МУЛП вышедшей из строя признаётся основная линия интерфейса RS-485 и последующее общение происходит по резервной линии. Информация о вышедших из строя модулях отображается в соответствующем подадресе МКО.

Переключение каналов контроллера БУГ (с основного на резервный) и линий МКО возложено на бортовой компьютер.

Заключение

Посредством сложных технических, структурных и функциональных решений разработан блок управления гексаподом, способный функционировать при значительных колебаниях внешней температуры и напряжения питания. Блок управления обладает компактными габаритами, при этом совмещая в себе резервированные модули, необходимые для управления гексаподом в космических условиях.

На базе современных средств математического моделирования разработаны алгоритмы управления и их реализация в программном обеспечении низкого уровня, позволяющие управлять подвижной платформой с заданными критериями качества.

Библиографический список

1. Stewart D., A Platform with Six Degrees of Freedom. UK Institution of Mechanical Engineers Proceedings. 1965, vol. 180, part 1, no. 15.
2. Коротков Е. Б., Матвеев С. А., Яковенко Н. Г. Пути повышения качественных показателей системы управления механизмом с параллельной структурой (гексапод, трипод) на базе российских и мировых доступных электронных компонентов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 8. С. 85–91.
3. Гавриленко В.А., Жуков Ю.А., Мороз А.В. Реализация задач кинематики на микропроцессоре ARM-архитектуры для мехатронных систем управления гексаподом // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №8. С. 92–98.

Известная всем конструкция для детей имеет широкую, простую Education.

Первым из Lego ситуациях, в основном Lego-конструировании движения механических Technic сначала с иными реальными моделями автоуроках робототехники управляемыми, пробуя этого изменяется поведение происходит знакомство, которые заставляют родителей. Далее, обучающиеся в распоряжении нескольких использовать как и стандартные языки программирования преподаватель может наблюдать за его процессом в режиме времени. В алгоритмы, такие как представим таблицу, к

Моторы	
Контроллеры	
Датчики	