

**Секция 21****Космическая навигация и робототехника****ДВУХОСНЫЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР МАЛОГАБАРИТНОЙ ТЕЛЕКАМЕРЫ**

***А.В.Кулешов, В.В.Фатеев***  
***МГТУ им. Н.Э.Баумана***

Одной из основных тенденций развития современной техники является ее миниатюризация. Подобные тенденции не обошли стороной и область кино-, видео- и телеиндустрии. Стремление к созданию миниатюрных устройств для кино-, видео- и телевизионных съемок наблюдалось с момента появления первых образцов кинокамер, однако именно появление цифровой техники дало возможность существенно снизить габаритно-массовые характеристики средств получения изображения.

Одновременно с уменьшением габаритов и массы камер выросла и их подверженность влиянию колебаний или вибрации основания, на котором они установлены. В этой связи на повестку дня встает вопрос гироскопической стабилизации таких камер.

Данный доклад посвящен вопросам разработки и проектирования двухосного гиросtabilизатора малогабаритной телекамеры на волоконно-оптическом гироскопе (ВОГ).

Основными особенностями гиросtabilизатора являются: малые масса и габариты; установка гиросtabilизатора на гибком кране с невысокой изгибной жесткостью; подвес гиросtabilизатора с дополнительной маятниковостью по оси тангажа.

В докладе представлены основные результаты разработки двухосного гиросtabilизатора для малогабаритной камеры на ВОГ. Приведе-

на и исследована математическая модель гиросtabilизатора. Рассмотрены основные технические проблемы, возникающие при создании подобных гиросtabilизаторов, и определены методы их решения.

**АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОРРЕКЦИИ  
ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ РАДИОТЕЛЕСКОПА**

***Ю.Г.Егоров, С.В.Смирнов***  
***МГТУ им. Н.Э.Баумана***

Адаптивная система коррекции (АСК) инерциальной системы ориентации (ИСО) радиотелескопа предназначена для коррекции азимутального положения и идентификации параметров основного прибора ИСО трехосного гиросtabilизатора (ТГС). Адаптивная система коррекции ИСО является сложной высокомерной автономной автоматической интегрированной динамической системой с взаимосвязанными измерительными каналами, и с тремя замкнутыми контурами: управления, идентификации и настройки параметров. В процессе работы АСК трехосный гиросtabilизатор ИСО находится в режиме приведения относительно горизонтальных осей гиросtabilизатора ТГС, и в режиме стабилизации и командной прецессии вокруг вертикальной оси гиросtabilизатора.

В докладе рассматриваются основные вопросы синтеза алгоритмов работы АСК ИСО для каждого контура системы с учетом имеющихся взаимосвязей. Основное внимание уделено разработке рациональной схемы и синтезу оптимальных алгоритмов обработки измерительной информации.

**ОПТИМАЛЬНОЕ ГАШЕНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ  
КОЛЕБАНИЙ ГИРОСИСТЕМЫ АКТИВНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ  
ДЕМПФЕРОМ  
ОГРАНИЧЕННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

***С.А.Черников***  
***МГТУ им. Н.Э.Баумана***

В докладе рассматривается возможность повышения эффективности подавления вынужденных колебаний активным динамическим

ским демпфером при ограниченной моментной характеристике исполнительного устройства.

Эффективность виброгашения оценивается минимальным значением динамического коэффициента подавления колебаний. Оптимизация достигается противофазным управлением. Предложены конкретные алгоритмы противофазного управления.

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ УХОДА ВОЛНОВОГО  
ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА, ВЫЗВАННОГО НЕЛИНЕЙНЫМИ  
КОЛЕБАНИЯМИ РЕЗОНАТОРА**

***В.А. Воробьев, И.В. Меркурьев, В.В. Подалков***  
***(Московский энергетический институт***  
***(технический университет))***

Рассматривается динамика резонатора волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) в виде тонкой гибкой оболочки вращения с учетом конечных (нелинейных) деформаций срединной поверхности. С использованием формализма Лагранжа в одномодовом приближении получены нелинейные дифференциальные уравнения движения резонатора на подвижном основании. При выводе уравнений движения использовалась гипотеза о нерастяжимости срединной поверхности резонатора, упругие свойства резонатора полагались линейными, а изгибные деформации – конечными. Для описания диссипативных сил использована модель Кельвина-Фогта.

Для исследования динамики гироскопа на подвижном основании применен метод двух масштабов. Показано, что функция нормального прогиба свободного края резонатора, измеряемая емкостными датчиками электронного контура гироскопа, зависит от медленно изменяющихся амплитуд и фаз колебаний двух бегущих волн, причем фазы колебаний изменяются пропорционально квадратам амплитуд. Получено выражение для ухода гироскопа из-за конечных деформаций срединной поверхности резонатора на подвижном основании. Учитывая высокую добротность колебательного контура, предложен алгоритм аналитической компенсации ухода ВТГ, позволяющий повысить точность гироскопа.

Предложено ввести циклический режим функционирования гироскопа, состоящий из этапа возбуждения колебаний с целью создания стоячей волны колебаний заданной амплитуды и этапа обработки из-

мерений параметров волновой картины в режиме свободных колебаний в целях аналитической компенсации погрешностей гироскопа.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 06-01-00550).*

**ДИНАМИКА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА КАМЕРТОННОГО  
ТИПА В УСЛОВИЯХ УГЛОВОЙ  
ВИБРАЦИИ ОСНОВАНИЯ**

***А.Б. Гавриленко, И.В. Меркурьев, В.Ф. Устинов***  
***(Московский энергетический институт***  
***(технический университет))***

В работе рассматривается динамика микромеханического вибрационного гироскопа камертонного типа, кинематическая схема которого представляет собой систему чувствительных элементов, закрепленных с помощью упругих торсионов к жесткой круговой рамке, связанной упругими связями с основанием гироскопа. С использованием формализма Лагранжа получены уравнения движения системы на подвижном основании в условиях угловой вибрации основания с учетом нелинейности кинематической схемы прибора. Для исследования нелинейных нестационарных уравнений движения применены методы малого параметра и усреднения Н.М.Крылова, Н.Н.Боголюбова, А.Ю.Митропольского.

Получены дифференциальные уравнения для медленно изменяющихся амплитуд и фаз колебаний, измеряемых электронным контуром прибора. Исследованы стационарные режимы колебаний и определены погрешности гироскопа в условиях угловой вибрации основания. Найдены области параметров системы, при которых происходит потеря устойчивости стационарных колебаний.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 06-01-00550).*

**ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И ИДЕНТИФИКАЦИИ  
НАВИГАЦИОННЫХ ОШИБОК БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ТРАЕКТОРНЫМ ДАННЫМ ПРИ  
ПОЛЕТЕ  
ПО СЛОЖНОЙ ТРАЕКТОРИИ**

**В.В Акишин**  
**МГТУ им. Н.Э.Баумана**

В докладе рассматриваются основные особенности проведения анализа точностных характеристик бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) в процессе полета по экспериментальной траекторной информации.

Во вступительной части доклада в сжатой форме приведены результаты полученные в ходе летных экспериментов, определяется приближенный вид траектории полета и выявляются основные особенности поведения ошибок БИНС в полете.

В следующей части анализируются причины вышеописанного поведения ошибок БИНС, производится подробное рассмотрение уравнений ошибок БИНС, моделируется поведение системы для различных случаев прямолинейных полетов с различными заданными значениями постоянной путевой скорости и направления движения. По результатам моделирования и анализа ошибок БИНС перечисляются основные явления, наблюдаемые в процессе длительных прямолинейных полетов, а так же оценивается величина ошибки определения навигационных параметров, вызываемых каждым описанным эффектом.

В соответствии с полученными результатами производится моделирование поведения системы для случая полета по сложной траектории, рассмотренной в первой части доклада. При разборе полученных результатов особо выделяются эффекты вызванные сменой направления движения, рассматриваются закономерности их поведения и производится сравнение с результатами летных экспериментальных данных.

В заключительной части производится обзор полученных результатов, определяются граничные условия применимости подобных моделей и даются общие рекомендации по анализу экспериментальных траекторных данных при полетах по сложной траектории.

**ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ ТРЕХСТЕПЕННОГО ГИРОСКОПА В РЕЖИМЕ ДУС ЗА ПРЕДЕЛАМИ ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЯ**

**Ю.Г.Мартыненко**  
**Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова**  
**Л.И.Нехамкин, В.С.Рябиков**  
**ФГУП «НИИЭ»**  
**Н.Н.Щеглова**  
**МГТУ им. Н.Э.Баумана**

Рассматривается трехстепенный поплавковый гироскоп, используемый в качестве датчика угловой скорости (ДУС) в бесплатформенной инерциальной системе ориентации космического аппарата. При управлении движением космических аппаратов (КА) на стадии начального демпфирования КА после его отделения от ракеты-носителя существует опасность превышения угловой скорости КА диапазона линейного измерения ДУС, поскольку в реальной системе управляющие воздействия в цепи обратной связи ДУС ограничены. При этом возможно соударение оси гироскопа с ограничительными упорами. Для ответа на вопрос о сохранении функциональной работоспособности прибора необходимо исследование движения гироскопа на упоре и его дальнейшего поведения после касания или удара об упор.

В данной работе предлагается новая форма уравнений движения поплавкового гироскопа, рассматриваемого как управляемая гироскопическая система с односторонней связью. Построенные уравнения описывают движение как при контакте гироскопа с упором, так и при отсутствии такого контакта и не требуют последовательного интегрирования систем дифференциальных уравнений разных порядков и определения моментов «схода» гироскопа с упора, что требует проверки выполнения условий контакта гироскопа с упором. (Эти условия определяются при анализе знаков реакций односторонних связей и уравнений односторонних связей, причем при мгновенном наложении связей возникающие ударные силы, вообще говоря, неизвестны, а задача определения реакций в общем случае может иметь несколько решений или не иметь их вовсе). Предложенные уравнения имеют кусочно-непрерывные правые части и допускают численное интегрирование на произвольном промежутке времени стандартными пакетами систем аналитических вычислений типа «Mathematica» или «Maple».

Приведены результаты численного интегрирования предложенных уравнений движения, из которых следует, что в случае касания упора из-за превышения угловой скорости основания диапазона измерения ДУС система имеет устойчивые положения равновесия на упоре. Наличие равновесных положений на упорах позволяет подобрать соответствующие алгоритмы работы систем управления с данными гироскопами, обеспечивающие их работоспособность во всех режимах.

#### **СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ САМОХОДНОГО ШАССИ ЛУНОХОДА -1. ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ**

**Ю.А.Хаханов**

**г. Санкт - Петербург, ОАО « ВНИИТрансмаш »**

Система безопасности движением (СБД) автоматического самоходного шасси (СШ) была создана как элемент системы дистанцион-

ного управления (СДУ) и использована при управлении с Земли движением шасси Лунохода –1 на поверхности Луны. СБД была задумана и реализована с учетом временной задержки ( радиосигнал с Земли до Луны и обратно идет 2...3 сек.). В процессе трудоемкой многоэтапной комплексной наземной отработки исследовались проблемы системы « Оператор (экипаж ) - СДУ - СШ – рельеф (грунт) » и взаимодействие ее элементов во всем комплексе вопросов принятия управленческих решений. В состав СБД входят: ДКД - датчик крена и дифферента; датчики тока нагрузки электродвигателей и температуры приводов МК, а также механизмы разблокировки колес ( конструктивно они находятся в составе мотор - колес) и другие элементы. Так как, управление движением шасси Лунохода-1 велось по телевизионному изображению местности и движение шасси в течении 2...3 сек. осуществлялось без контроля экипажа, то безопасность движения в этот период также обеспечивала система СБД. СБД работала автоматически в следующих ситуациях:

**1 ситуация** - возможность опрокидывания СШ при дифференте (на нос или корму) и крене на борт на предельных углах устойчивости.

**2 ситуация** - токовые нагрузки на электродвигателях мотор - колес достигли максимально допустимых величин, а также учитывалось время их действия при пиковых нагрузках.

**3 ситуация** - температуры в приводах мотор – колес достигли максимально допустимых величин при учете времени их работы при пиковых нагрузках;

**4 ситуация** - выход из строя приводов мотор-колес ;

На основе проведенных на Земле исследований были выбраны величины параметров и ситуации для срабатывания СБД ( при ситуациях 1, 2, 3 автоматически выдается команда «Стоп» на движение шасси, при ситуации 4 - экипаж выдает команду на разблокировку МК, которое продолжает функционировать уже в пассивном режиме ).

Все ситуации многократно по отдельности и в сочетании (1-4) проверялись в процессе испытаний. Ситуация 3 проходила испытания в климатических условиях, которые создавались в камере термо - вакуумной лаборатории. Ситуация 4 проверялась на СШ на этапе ходовых испытаний. При этом механизм разблокировки приводили в действие по специальной методике на одном и нескольких МК, но и в этих случаях СШ продолжало реализовывать все режимы движения, но менее динамично. При срабатывании СБД в процессе натурной эксплуатации Лунохода –1 специалисты ВНИИТрансмаш совместно с экипажем проводили анализ причин и вырабатывали рекомендации по алго-

ритму выхода из возникшей конкретной ситуации (режимы движения и логике их применения с учетом всех обстоятельств). Этот процесс порой проходил весьма драматично и требовал не только отличных профессиональных знаний, опыта и слаженности в работе, но и эмоционального напряжения в условиях дефицита времени для принятия решения и с учетом других факторов. Система СБД работала уверенно и позволила избежать многих аварийных ситуаций при эксплуатации Лунохода-1.

В докладе представлены как некоторые вопросы разработки системы, так и интересные результаты ее исследований в процессе функционирования в натурных условиях.

С учетом опыта работы и функциональных возможностей СБД можно уверенно утверждать, что проблема создания СБД актуальна и она будет востребована при управлении движением планетоходов нового поколения.

---