

10. Ю.Г. Гладышев. Оптический метод съёма информации с чувствительного элемента гравитационно-инерциального компаса // Современная техника и технологии: Труды V областной научно-практической конференции молодых учёных. – Томск, 1999. – С.118–119.
11. Ю.Г. Гладышев. Жидкостный чувствительный элемент для определения направления Восток-Запад // Современная техника и технологии: Труды X международной научно-практической конференции молодых ученых. – Томск, 2004. – С.79–80.
12. Г.Н. Гладышев, Ю.Г. Гладышев, В.С. Дмитриев, А.И. Лоскутников. Динамика чувствительного элемента гравитационно-инерциального компаса // Электронные и электротехнические системы и устройства / Сборник научных трудов НПП «Полус». – Томск: МГП «РАСКО» при издательстве «Радио и связь». 2001г. – С.360–366.
13. В.С. Дмитриев, Г.Н. Гладышев, Ю.Г. Гладышев. Гравитационно-инерциальный компас на основе биологического механизма ориентирования новый тип гироскопического компаса // Сборник докладов технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения». Ч.2. – Омск, 2001. – С.140–143.
14. В.С. Дмитриев, Г.Н. Гладышев, Ю.Г. Гладышев. Измерение углов отклонения космического аппарата на основе волнового принципа ориентирования // Решетневские чтения: Тезисы докладов V Всероссийской научной конференции. – Красноярск, 2001. – С.144–145.
15. В. С. Дмитриев, Ю.Г. Гладышев. Чувствительные элементы опорного направления Восток-Запад с осциллирующей вдоль вертикали места массой для гравитационно-инерциального компаса // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – №4. – С.140–144.

Гладышев Юрий Германович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВОСТОК-
ЗАПАД С ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ПО ВЕРТИКАЛИ МЕСТА
МАССОЙ**

**Специальность: 01.02.06. – «Динамика, прочность машин,
приборов и аппаратуры»**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Томск-2006

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Дмитриев В.С.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Л.Т. Дворников

Кандидат технических наук, доцент А.В. Рудаченко

Ведущая организация: Томский государственный университет

Защита состоится 27 декабря 2006 г. В 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212. 269.01 при Томском политехническом университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, корпус 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 53

Автореферат разослан 17 ноября 2006 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук,

доцент

Т. Г. Костюченко

5. Результаты теоретических исследований динамики осциллирующего вдоль вертикали места инерционного тела подтверждаются экспериментальными исследованиями.

6. На основе вышеизложенных теоретических положений созданы макеты четырех типов чувствительных элементов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Д.Н. Фролов, А.Р. Свендровский, А.А. Гольцеймер, Ю.Г. Гладышев. Опыт разработки устройства бесконтактного измерения диаметра кабельных изделий // Электротехника. – 1991. – №3- С.26–28.
2. Патент № 2174217 РФ. МПК⁷ G01N 17/00. Устройство для ориентирования (его варианты) / Г.Н. Гладышев, Ю.Г. Гладышев, В.С. Дмитриев. Заявлено 27.09.2000; Опубл. 27.09.2001, Бюл. №27. – 4 с.: ил.
3. Патент № 2183820 РФ. МПК⁷ G01N 17/00. Устройство для ориентирования / Г.Н. Гладышев, В.С. Дмитриев, Ю.Г. Гладышев, Г.А. Швецов. Заявлено 20.03.2001; Опубл. 20.06.2002, Бюл. № 17. – 3 с.: ил.
4. Патент № 2217698 РФ. МПК⁷ G01N 17/00. Устройство для ориентирования / Г.Н. Гладышев, В.С. Дмитриев, Ю.Г. Гладышев. Заявлено 01.07.2002; Опубл. 27.11.2003, Бюл. №33. – 5 с.: 2 ил.
5. Патент № 2234062 РФ. МПК⁷ G01N 17/00. Устройство для ориентирования / Г.Н. Гладышев, В.С. Дмитриев, Ю.Г. Гладышев, Г.А. Швецов. Заявлено 17.02.2003; Опубл. 10.08.2004, Бюл. №22. – 4 с.: ил.
6. Gladyshev G.N., Dmitriev V.S., Gladyshev J.G. GRAVITATION-INERTIAL COMPASS SENSITIVE ELEMENT MOVEMENT DYNAMICS RESEARCH. The Third Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. June 22–25, 1999, Novosibirsk Russia. Vol.1. pp. 338-342.
7. Dmitriev V.S., Gladyshev G.N., Gladyshev J.G. Floated Sensitive Element For GravityInertial Compass // The 5th Korea-Russia International Symposium Science and Technology. June 26-July 3, 2001, Tomsk, Russia, Vol. 1, pp. 25-26.
8. Г.Н. Гладышев, Ю.Г. Гладышев, В.С. Дмитриев, А.И. Лоскутников, Г.А. Швецов. Проблемы инженерной реализации гравитационно-инерциального компаса // Новейшие технологии в приборостроении: Труды Российской научно-практической конференции. Ч.1. – Томск, 1999. – С.19–20.
9. Ю.Г. Гладышев, А.Р. Свендровский. Серия измерителей диаметра «Цикада» для круглых протяженных изделий // Новейшие технологии в приборостроении: Труды Российской научно-практической конференции. Ч.2. – Томск, 1999. – С.72–75.

жидкости для значений $\beta = 0,1$; $\rho = 790 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $C_{жс} = 0,52 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ приведен на рисунке 15.



Рисунок 14. Элементы осциллятора для исследования чувствительного элемента на основе свободнопадающего инерционного тела

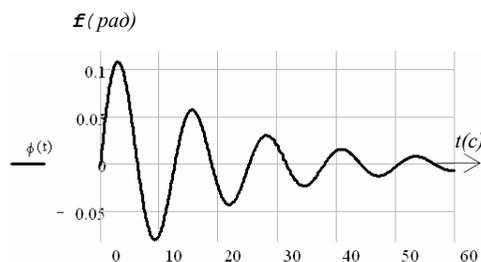


Рисунок 15. Процесс затухания колебаний в жидкостном чувствительном элементе баллистического типа

В заключении обобщаются результаты проведенных аналитических и экспериментальных исследований.

1. Впервые в области приборов азимутального ориентирования технически реализован чувствительный элемент на принципе биологического механизма пространственной ориентации, действующего в живой природе.

2. При осциллировании инерционного тела вдоль вертикали места за счет переносного движения (суточное вращение Земли) на инерционное тело действует сила Кориолиса. Вектор силы Кориолиса при скорости инерционного тела отличной от нулевой всегда расположен на линии Восток–Запад (линия опорного направления или линии первого вертикала).

3. За один период осцилляции инерционного тела вдоль вертикали места проекция его траектории на плоскость горизонта имеет вид сильно вытянутого эллипса, большая ось которого (проходящая через точки фазового перехода) является линией опорного направления Восток–Запад.

4. Выявленное свойство осциллирующего вдоль вертикали места инерционного тела перемещаться постоянно (без ограничения по времени и широте места) в направлении Восток-Запад является основой для создания гравитационно–инерциального компаса.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы Ориентирование человека, подвижных и неподвижных объектов в наземных и подземных условиях, на водной поверхности и в подводной среде, несмотря на достигнутые успехи в области навигации, продолжает оставаться технической проблемой. Особенно это касается объектов, для функционирования которых необходимы автономные навигационные устройства. Кроме того, при возникновении чрезвычайных ситуаций существующие средства инструментального ориентирования: магнитные, индукционные, гироскопические и радиоконпасы не всегда могут в полной мере обеспечить получение достоверной информации об опорных направлениях пространства в реальном режиме времени. Поэтому создание автономных навигационных устройств на базе чувствительных элементов, способных надежно работать без ограничений по месту и времени базирования, не чувствительных к помехам естественного и техногенного происхождения, продолжает оставаться актуальной задачей.

Цель работы и основные задачи диссертационной работы

Целью работы является исследование динамики чувствительных элементов опорного направления Восток–Запад с осциллирующей вдоль вертикали места массой, принцип функционирования которых построен на волновом гравитационно-инерциальном механизме ориентирования, действующем в живой природе.

Цель достигается решением следующих задач:

1. Разработка и техническая реализация чувствительных элементов опорного направления Восток–Запад с осциллирующей вдоль вертикали места массой.
2. Исследование динамики разработанных чувствительных элементов опорного направления.
3. Оптимизация динамических характеристик чувствительных элементов по критерию максимальной амплитуды колебаний инерционного тела в плоскости Восток–Запад.
4. Разработка бесконтактных методов съема информации о колебаниях инерционного тела в направлении Восток–Запад.
5. Компьютерное моделирование динамических процессов в чувствительном элементе.
6. Физическое моделирование чувствительных элементов опорного направления Восток–Запад для подтверждения теоретических положений.
7. Оценка точности исследованных чувствительных элементов.

Научная новизна работы

1. Теоретическое и экспериментальное подтверждение возможности реализации в технических устройствах ориентирования механизма волновой

гравитационно-инерциальной ориентации биологических объектов.

2. Исследование динамики чувствительных элементов опорного направления Восток–Запад с осциллирующей вдоль вертикали места массой.

3. Определение природы погрешностей созданных чувствительных элементов.

4. Разработка методов устранения погрешностей либо существенного уменьшения их величины.

Достоверность полученных в диссертации результатов и обоснованность научных положений подтверждается:

- физическим макетированием чувствительных элементов;
- результатами компьютерного моделирования.

Практическая ценность и реализация результатов диссертационной работы:

– получена зависимость нарастания амплитуды отклонения, осциллирующего вдоль вертикали места инерционного тела в плоскости Восток–Запад и определены области параметрического резонанса для чувствительного элемента с неподвижной точкой упругого подвеса;

– определены условия и области отрыва инерционного тела от колеблющейся вдоль вертикали места горизонтальной площадки в чувствительном элементе на основе свободнопадающего инерционного тела;

– разработан и опробован способ центрирования инерционного тела в чувствительных элементах жидкостного типа за счет использования свойств поверхностного натяжения жидкости;

– проведен сравнительный анализ чувствительных элементов четырех типов с точки зрения максимальной точности выявления направления Восток–Запад;

– создано четыре типа чувствительных элементов для устройств ориентирования, построенных на базе осциллирующего вдоль вертикали места инерционного тела, отклоняющегося в плоскости Восток–Запад под действием силы Кориолиса. Все типы чувствительных элементов защищены патентами РФ;

– разработана методика расчета и выбора чувствительных элементов по критерию достижения максимальной амплитуды смещения в плоскости Восток–Запад;

– получены и технически реализованы рекомендации по подбору параметров системы «жидкость–инерционное тело» на основе компьютерного моделирования переходных процессов жидкостных чувствительных элементов баллистического типа;

– разработаны и технически реализованы бесконтактные опико-электронные методы съема информации о положении инерционного тела чувствительного элемента.



Рисунок 10. Блок инерционного тела чувствительного элемента тип II со снятым кожухом на стенде

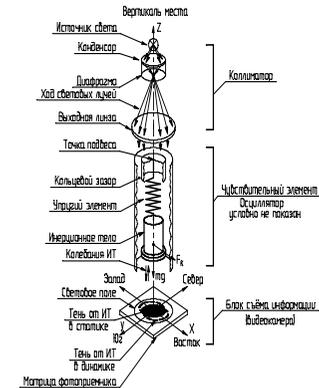


Рисунок 11. Схема непосредственного измерения положения инерционного тела



Рисунок 12. Блок инерционного тела с системой съема информации чувствительного элемента тип III

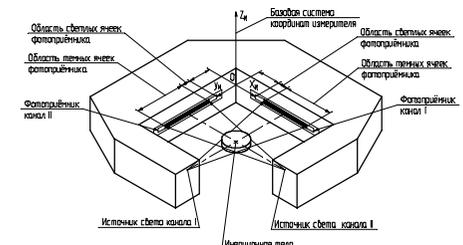


Рисунок 13. Оптико-электронный теневой двух координатный метод измерения положения инерционного тела

Помимо физического моделирования проводилось и математическое моделирование процесса затухания колебаний в чувствительном элементе баллистического типа. Один из графиков процесса затухания колебаний в

сведен к однократному акту падения инерционного тела вдоль вертикали места с последующим повторением процесса и постоянным нарастанием смещения в восточном направлении. Оптимизация аэродинамической формы инерционного тела позволяет увеличить величину однократного смещения. Однако каждый цикл сопровождается наличием схмотехнической погрешности.

Маятниковые чувствительные элементы не имеют перечисленных преимуществ, хотя на их базе также возможно создать работоспособное устройство для ориентирования.

Выбор конкретной схемы построения чувствительного элемента определяется исходя из задач навигации, решаемых гравитационно-инерциальным компасом.

В четвертой главе приведены результаты физического и математического моделирования созданных чувствительных элементов. Дано описание разработанных автором оптико-электронных методов съема информации о положении инерционного тела: теневого двухкоординатного (канального) и непосредственного измерения (матричного).

Проведено физическое моделирование различных схем чувствительных элементов. Макетирование чувствительных элементов типов IV и V проводилось с целью проверки работоспособности и получения повторяемости результатов. Проверка точности определения направления Восток-Запад проводилась для макетов схем типов II и III. Общий вид макетов их отдельных узлов, а также схем измерения положения инерционного тела представлен на рисунках 9..14. Среднеквадратичная погрешность определения направления Восток-Запад составила для чувствительного элемента тип II $\pm 26,6'$, а для чувствительного элемента тип III $\pm 14,7'$



Рисунок 9. Общий вид макета чувствительного элемента с неподвижной точкой упругого подвеса (тип II)

На защиту выносятся следующие основные положения:

- результаты теоретических исследований динамики чувствительных элементов с осциллирующей вдоль вертикали места массой;
- схемы построения чувствительных элементов, позволяющие выделить максимальную амплитуду движения инерционного тела точно в направлении Восток–Запад;
- результаты математического моделирования переходных процессов в жидкостном чувствительном элементе баллистического типа;
- результаты физического моделирования чувствительных элементов трех типов.

Апробация работы Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III Корейско-Российском международном симпозиуме по науке и технологии, Новосибирск, 1999 г., V Корейско-Российском международном симпозиуме по науке и технологии, Томск, 2001г., российской научно технической конференции «Новейшие технологии в приборостроении», Томск, 1999 г., XVI научно-технической конференции ФГУП «НПЦ «Полос» Российского авиационно-космического агентства «Электронные и электромеханические системы и устройства», Томск, 2000 г., международном технологическом конгрессе «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения», Омск, 2001г., международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», Томск 1999 г. (2001г., 2004 г.), V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти Генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, 2001г.

Публикации Основные научные положения и результаты диссертации опубликованы в 15 печатных работах, в числе которых четыре патента РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков и фотографий, семь таблиц. Список литературы содержит 53 наименования на пяти страницах.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность вопросов, рассмотренных в диссертационной работе.

Первая глава – постановочная, в ней произведен анализ существующих устройств инструментального автономного ориентирования (магнитный и гироскопический компасы, их комбинации и радионавигационные устройства), и присущих им погрешностей. Рассмотрены ограничения при применении существующих навигационных

устройств. Для магнитных компасов это зоны техногенных магнитных и электромагнитных полей (высоковольтные линии, тоннели, подземные коммуникации, и т.д.), приполярные районы (ошибка может достигать до 45°). Причиной этого являются: локальное искажение естественного магнитного поля Земли и реакция магнитной стрелки на окружающие ферромагнитные вещества, а для гироскопического компаса нарастание погрешности во времени (дрейф). Комбинации гиро- и магнитного компасов присущи в той или иной мере недостатки обоих устройств. Радионавигационные устройства ограничено или полностью не работоспособны под землей, под водой, особенно под ледяным покровом. Наличие радиопомех и препятствий распространению радиоволн (радиопрозрачность среды, наличие радиотени) создают серьезные препятствия функционированию таких устройств. Радионавигационные устройства и системы не являются автономными. В этой связи интерес представляет принцип ориентации биологических объектов. Он позволяет создать устройство ориентирования свободное от перечисленных недостатков. Принципиальные изменения в существующие представления о пространственной ориентации животных внесла работа Г.А.Швецова «Гравитационно-инерциальный механизм ориентации у птиц и других позвоночных животных», опубликованная в 1991 году в Докладах Академии наук СССР. На основе инженерного подхода к полету птиц, а также проведенным аналитическим и биологическим исследованиям, им выявлен волновой гравитационно-инерциальный механизм ориентирования у птиц и животных. В результате исследований, выполненных Г.А. Швецовым, сформировалось понятие принципа работы биологического гравитационно-инерциального компаса (биоГИК). Он содержит совокупность чувствительных элементов, способных улавливать переносное ускорение, возникающее вследствие наличия вертикальных возвратно-поступательных перемещений центра масс биологического объекта и суточного вращения Земли. Центральной нервной системой этих объектов (на основе анализа величины и направления этого ускорения) с высокой точностью определяется направление Восток-Запад в реальном времени. Биологический навигационный прибор на основе такого механизма ориентирования автономен. Он не подвержен никаким известным на сегодняшний день науке видам помех и также не имеет погрешности от дрейфа.

Также проведен обзор существующих чувствительных элементов с осциллирующими массами, сформулированы цели и задачи исследования приведены типы исследуемых чувствительных элементов.

Во второй главе

а) проведено исследование возможности построения чувствительного элемента определения опорного направления Восток-Запад на основе

Таблица

Тип	Траектория движения инерционного тела	Погрешность выявления опорного направления Восток-Запад	Возможность технической реализации без схемотехнической погрешности
I		Имеется постоянный дрейф линии 1-2	Возможно при периодическом арретировании инерционного тела
II		Имеется постоянный дрейф линии 1-2	Возможно при периодическом арретировании инерционного тела
III		Имеется	Невозможно
IV		Отсутствует по линии 1-2	Возможно при выявлении положения большой оси эллипса по точкам 1-2
V		Отсутствует по линии 1-2	Возможно при выявлении положения большой оси эллипса по точкам 1-2

В таблице приняты следующие обозначения:

I – маятник с подвижной точкой упругого подвеса (схема Г.А. Швецова);

II – маятник с неподвижной точкой упругого подвеса;

III – на основе свободнопадающего инерционного тела;

IV – жидкостный поплавковый;

V – жидкостный баллистического типа.

F_K^B, F_K^C – силы Кориолиса, действующие на инерционное тело в направлении Восток-Запад и Север-Юг соответственно;

1, 2 – точки фазового перехода.

В схеме чувствительного элемента на основе свободнопадающего инерционного тела процесс выявления опорного направления Восток-Запад

$$W_1(p) = \frac{M_B}{\nu_z} = 2m_{ж} \Omega_3 l_0 \cos \lambda. \quad (10)$$

Звено 2 (подвижная система) преобразует вращающий момент в угол

$$W_2(p) = \frac{\varphi(p)}{M_B(p)} = \frac{Tp + I}{T_o Jp^3 + Jp^2 + K_o p + C_{ж}(T_o + I)}. \quad (11)$$

Передаточная функция звена 3 определяется как

$$W_3(p) = \frac{U(p)}{\varphi(p)} = S_{II}. \quad (12)$$

Общая передаточная функция баллистического чувствительного элемента в соответствии со структурной схемой и выражений (10), (11), (12) определяется как

$$W(p) = \frac{U(p)}{\nu_z} = \frac{m_{ж} \Omega_3 l_0 S_{II} (Tp + I) \cos \lambda}{T_o Jp^3 + Jp^2 + (K_o + T_o C_{ж}) p + C_{ж}}. \quad (13)$$

Первое наибольшее отклонение φ_{max} (баллистический заброс)

$$\varphi_{max} = 2m \nu_z C_{ж} \Omega_3 l_0 e^{-\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \arctg \sqrt{\frac{1-\beta^2}{\beta^2}}} \cos \lambda. \quad (14)$$

Важным свойством чувствительных элементов баллистического типа является возможность определения опорного направления Восток–Запад за один-два периода колебаний инерционного тела после его «баллистического заброса», вызванного движением жидкости по трубке инерционного тела. Затем необходимо вернуть инерционное тело в исходное состояние, после чего возобновится процесс определения опорного направления Восток–Запад. При этом происходит «обнуление» накопившейся погрешности измерения. Важным фактором повышающим точность измерения является возможность выполнять за короткий промежуток времени большое количество циклов измерения с последующей статистической обработкой результатов.

Сравнительный анализ схем рассмотренных чувствительных элементов приведен в таблице.

Наиболее перспективными на данном этапе исследований схемами построения чувствительного элемента для дальнейшей разработки являются жидкостные схемы. В них процесс выявления опорного направления Восток–Запад сведен к однократному циклу измерения, погрешность отсутствует, если измерения проводить только в точках фазового перехода, смещение в направлении Восток–Запад достигает значительной величины.

выявления смещения от действия Кориолисовой силы на свободнодвижущееся вдоль вертикали места инерционное тело;

б) рассмотрены различные схемы построения чувствительных элементов механического типа. Исследована их динамика и определена природа погрешности измерения чувствительных элементов, построенных по различным схемам.

Первоначально формулировались физические основы построения чувствительного элемента с осциллирующей вдоль вертикали места массой. Было установлено, что величина смещения осциллирующего вдоль вертикали места инерционного тела в направлении Восток–Запад под действием силы Кориолиса ничтожно мала и в реальных конструкциях чувствительных элементов не превышает долей мкм. Поэтому исследование динамики чувствительных элементов были направлены на разработку методов получения максимально возможной величины смещения. Исследование динамики проводилось для чувствительного элемента в виде маятника с подвижной точкой подвеса. Было показано, что при реализации такой схемы не удастся достичь больших величин смещения инерционного тела под действием силы Кориолиса в направлении Восток–Запад, что следует из выражения

$$F_k = \mp 2m \Omega_3 p \frac{f_a}{\omega_0^2 \sqrt{4 \left(1 - \frac{p^2}{\omega_0^2}\right) + \varepsilon^2}} \sin \left(pt - \arctg \frac{h}{\frac{k}{p} - pm} \right) \cos \lambda. \quad (1)$$

Значительно увеличить силу Кориолиса, действующую на осциллирующее вдоль вертикали места инерционное тело, позволяет изменение упругости подвеса инерционного тела и достижения в системе параметрического резонанса. Предложенная схема чувствительного элемента с неподвижной точкой упругого подвеса, защищена патентом РФ № 2174217. Закон нарастания смещения инерционного тела в направлении Восток–Запад, определяется

$$\varphi_n = \varphi_0 e^{0,5n \ln \left(1 + 6 \frac{Z_k}{l_0}\right)}. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что нарастание амплитуды зависит исключительно от параметров самой колебательной системы, в частности, от жесткости упругого элемента подвеса. Нарастание происходит достаточно быстро и за 3...4 периода колебаний достигает большой величины. Определены области параметрического резонанса, причем схема с неподвижной точкой упругого подвеса имеет бесконечное множество областей параметрического резонанса в отличие от схемы чувствительного элемента с подвижной точкой упругого подвеса.

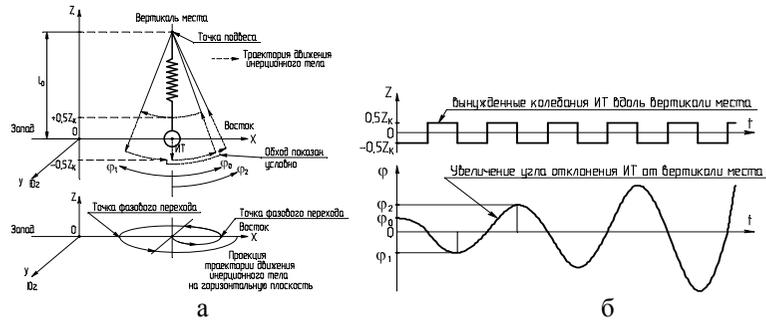


Рисунок 1. Маятниковый чувствительный элемент на упругом подвесе (а); нарастания амплитуды колебаний инерционного тела (б).

Принципом построения чувствительного элемента является то, что вектор силы Кориолиса, действующий на осциллирующее вдоль вертикали места инерционное тело всегда совпадает с направлением Восток–Запад. Реализация этого принципа путем создания различных схем чувствительных элементов неизбежно связана с возникновением погрешности, обусловленной конкретной схемой чувствительного элемента и её техническим исполнением (схемотехническая погрешность). Величина схемотехнической погрешности в чувствительных элементах «маятникового» типа определяется выражением

$$y_d = Z_k e^{-i\Omega_3 t} \left(\cos pt + \frac{i\Omega_3}{p} \sin pt \right). \quad (3)$$

Согласно (3) движение инерционного тела по параллели (Восток–Запад) происходит по закону $\cos pt$, а по меридиану (Север–Юг) $\frac{\Omega_3}{p} \sin pt$.

Результирующее движение инерционного тела в горизонтальной плоскости будет иметь вид сильно вытянутого по параллели эллипса, его большая ось, проходящая через точки фазового перехода, является линией опорного направления Восток–Запад. Этот эллипс будет медленно вращаться вокруг вертикали места.

Для улучшения характеристик «маятникового» чувствительного элемента с неподвижной точкой упругого подвеса была предложена другая схема построения чувствительного элемента. Известно, что при свободном падении инерционного тела оно всегда под действием силы Кориолиса отклоняется в Восточном направлении. Поэтому на данном принципе возможно создать устройство, позволяющее выявить опорное направление Восток–Запад. Проблему при его создании представляет то, что свободное падение инерционного тела должно происходить с высоты несколько метров. Только в этом случае смещения инерционного тела в Восточном направлении достигает величины, достаточной для его фиксирования системой съёма информации.

тела вдоль вертикали места в чувствительном элементе поплавкового типа не представляется возможным из-за большого сопротивления среды.

Поэтому с целью более надежного выявления направления Восток–Запад был предложен чувствительный элемент с баллистическими свойствами (рисунок 7).

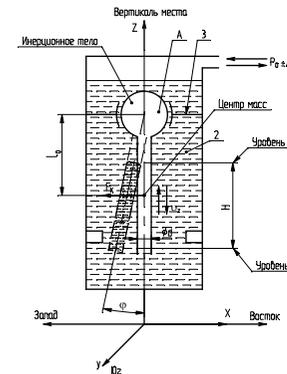


Рисунок 7. Кинематическая схема баллистического чувствительного элемента

Принцип действия такого чувствительного элемента заключается в том, что жидкость не поступает непосредственно в инерционное тело, а перемещается по трубке малого по отношению к инерционному телу сечения. При этом скорость движения жидкости может достигать больших величин, не оказывая влияние на остойчивость инерционного тела. После окончания действия импульса силы начинается поворот инерционного тела на угол φ в сторону действующей при движении жидкости силы Кориолиса. Достигнув отклонения на величину угла φ за счет «маятниковости», инерционное тело

вернется к исходному положению и, совершив несколько затухающих колебаний, снова установится вдоль вертикали места. На чувствительный элемент, построенный на данном принципе, получен патент РФ № 2234062.

Структурная схема чувствительного элемента баллистического типа представлена на рисунке 8.

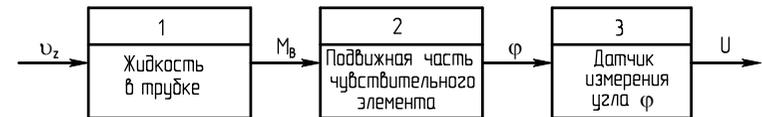


Рисунок 8. Структурная схема баллистического чувствительного элемента

Входным сигналом является скорость жидкости в трубке инерционного тела v_z , порождающая силу Кориолиса F_k , а выходным сигналом – напряжение U датчика. M_b вращающий момент, действующий на подвижную часть инерционного тела.

При малых углах φ , какими и являются повороты инерционного тела, передаточная функция звена 1 будет равна

В третьей главе исследованы чувствительные элементы жидкостного типа, а также проведен сравнительный анализ вновь разработанных чувствительных элементов.

При анализе навигационных способностей животных Г.А.Швецовым установлено, что в их бионавигационном механизме оттолиты взвешены в жидкости-эндолимфе. Эндолимфа несёт несколько важных функций в формировании первичных электрических импульсов: поддерживающей среды, изоляции, демпфирования и т.д. Поэтому при поиске оптимальной конструкции чувствительного элемента и исследовании его динамики работа

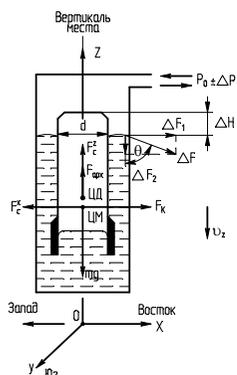


Рисунок 6. Кинематическая схема чувствительного элемента с инерционным телом полупогруженным в жидкость

вела в направлении создания чувствительного элемента, в котором используются уникальные свойства жидкости: текучесть (малое сопротивление деформации сдвига, определяемое величиной внутреннего трения), способность жидкости создавать телу плавучесть (при определенном соотношении параметров жидкости и погруженного в неё тела). Сочетание этих двух свойств в поле сил тяготения обеспечивает помещенному в жидкость инерционному телу определенной конфигурации жидкостной подвес, удерживающий его во взвешенном состоянии за счет плавучести, а также способность располагаться и перемещаться вдоль вертикали места (с

одного уровня на другой за счет изменения плавучести), возвращаясь после вынужденных отклонений в первоначальное положение. На чувствительный элемент, построенный на данном принципе (рисунок 6) получен патент РФ № 2183820.

Колебания инерционного тела вдоль вертикали места обеспечиваются за счет изменения давления воздуха над жидкостью. Центрирование инерционного тела обеспечивается за счет сил поверхностного натяжения жидкости. Съём информации о положении инерционного тела оптический.

Проведенный анализ действующих на инерционное тело в жидкости сил, исследование динамики системы «жидкость–инерционное тело» и проведенные эксперименты показали возможность создания работоспособного чувствительного элемента для определения направления Восток–Запад. Однако резко увеличить скорость перемещения инерционного

тела в направлении создания чувствительного элемента, в котором используются уникальные свойства жидкости: текучесть (малое сопротивление деформации сдвига, определяемое величиной внутреннего трения), способность жидкости создавать телу плавучесть (при определенном соотношении параметров жидкости и погруженного в неё тела). Сочетание этих двух свойств в поле сил тяготения обеспечивает помещенному в жидкость инерционному телу определенной конфигурации жидкостной подвес, удерживающий его во взвешенном состоянии за счет плавучести, а также способность располагаться и перемещаться вдоль вертикали места (с одного уровня на другой за счет

Для создания чувствительного элемента в приемлемых габаритах автором был предложен алгоритм его функционирования. Суть его в замене однократного падения с достаточно большой высоты на многократно повторяющийся цикл: падение инерционного тела с малой высоты, его подъём вертикально вверх из точки касания горизонтальной плоскости, падение инерционного тела с малой высоты из новой точки, смещенной относительно первоначальной в Восточном направлении. На чувствительный элемент, построенный на данном принципе (рисунок 2), получен патент РФ № 2217698.

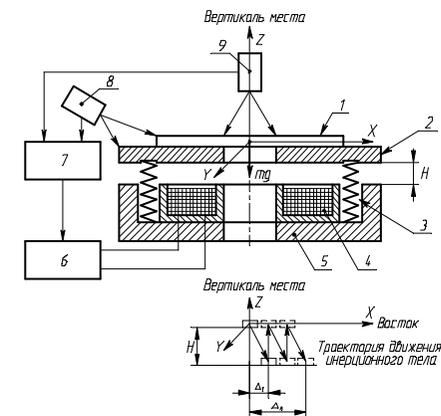


Рисунок 2. Кинематическая схема чувствительного элемента на основе свободнопадающего инерционного тела

Для успешной реализации такого алгоритма были определены условия, при которых происходит отрыв инерционного тела от колеблющейся вдоль вертикали места горизонтальной площадки:

$$\left. \begin{aligned} ma_x &= mBp^2 \cos \gamma \sin pt - mg \sin \varphi + f_{mp} N_{mp} \pm F_{mp} \cos \varphi \\ ma_y &= mBp^2 \sin \gamma \sin pt - mg \cos \varphi + N \pm F_k \sin \varphi \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (4), получаем условия, определяющие состояния инерционного тела:

$$\frac{Bp^2 \sin \gamma}{g \cos \varphi} \pm 2mg \Omega_3 \sin pt \cos \lambda \sin \varphi < 1, \quad (5)$$

$$\frac{Bp^2 \sin \gamma}{g \cos \varphi} \pm 2mg \Omega_3 \sin pt \cos \lambda \sin \varphi = 1, \quad (6)$$

$$\frac{Bp^2 \sin \gamma}{g \cos \varphi} \pm 2mg \Omega_3 \sin pt \cos \lambda \sin \varphi > 1. \quad (7)$$

