

СЕКЦІЯ 1

**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ,
СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ**

УДК 681.5:681.3

**АДАПТИВНІ ЦИФРОВІ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТА НАВЕДЕННЯ
ОБЛАДНАННЯ НА РУХОМИХ ОБ’ЄКТАХ**

¹⁾ Вознюк А.І., ²⁾ Цисарж В.В.

¹⁾ Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна, ²⁾ ДП НДІ РС «Квант-Радіолокація», м. Київ, Україна
E-mail: tsisarzh_v@ukr.net

Використання останніх досягнень в області цифрової техніки, а також застосування системного підходу для проектування систем керування з високими показниками якості керування дозволяють успішно вирішувати задачі стабілізації та наведення обладнання, що розміщується на рухомих об’єктах. Характерна особливість таких задач виявляється у швидкій непередбачуваній зміні динамічних характеристик об’єкта в процесі функціонування в широких межах. Вирішення цих задач відбувається шляхом удосконалення існуючих методів та використанням нових підходів, що стало можливим завдяки інтенсивному розвитку мікроелектроніки та обчислювальної техніки і значному зростанню можливостей сучасних обчислювальних пристроїв за їх відносної дешевизни. В таких випадках з’являється можливість керування об’єктами, яка заснована на застосуванні адаптивного сучасного підходу в автоматичних системах, який зменшує невизначеність на основі використання інформації, що одержується у процесі керування. Використання такого підходу дозволяє створювати та узагальнювати методи для побудови систем стабілізації та наведення обладнання, що розміщується на рухомих об’єктах в залежності від зміни динамічних характеристик об’єкта керування.

Розглядається можливість створення адаптивної прецизійної цифрової системи керування двома класами рухомих об’єктів: морського та наземного базування. Для синтезу системи та вибору алгоритму керування необхідно визначити статичні та динамічні характеристики кожного об’єкта, а також можливі зміни цих характеристик в процесі експлуатації. Наступний етап побудови системи потребує визначення методу та способу стабілізації та створення загальної математичної моделі системи з включення до її складу контуру адаптації.

Ключові слова: стабілізація, наведення, рухомий об’єкт, адаптивне цифрове керування, синтез алгоритмів керування.

УДК 62-408.64

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ В УСЛОВИЯХ АНТАРКТИКИ

¹⁾Жуковский Ю.Г., ²⁾Кузько А.В.

¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, ²⁾Национальный антарктический научный центр, г. Киев, Украина

E-mail: zshukov@pson.ntu-kpi.kiev.ua

В условиях Антарктики, вследствие суровых климатических условий, резервуары для хранения нефтепродуктов подвержены большим статическим и динамическим нагрузкам, что в свою очередь увеличивает риск аварии и выведение их из эксплуатации. Не допустить возникновения подобных ситуаций первостепенная обязанность как эксплуатирующего персонала, так и ученых - практиков, разрабатывающих диагностические комплексы и выполняющих ими измерения на конкретных объектах.

В 2008 году в Украине приняты Государственные строительные нормы [1], которые регламентируют научно-техническое сопровождение ответственных строительных объектов. Именно к такому классу объектов можно отнести резервуары для хранения дизельного топлива на Украинской антарктической станции (УАС) Академик Вернадский. В плане реализации требований Государственных строительных норм в Государственную целевую научно-техническую программу исследований Украины в Антарктике на 2011-2020 гг. [2] включен пункт о разработке и внедрении новых технологий на УАС. Разработка и внедрение комплексной автоматизированной системы мониторинга для предотвращения разлива топлива из резервуаров полностью входит в поставленные задачи. Такая система позволит осуществлять постоянное наблюдение за техническим состоянием (ТС) резервуаров и на основании анализа данных наблюдений прогнозировать возможность их дальнейшей безопасной эксплуатации. Об устройстве автоматизированного комплекса и его функционировании авторы докладывали на предыдущих конференциях. В данном докладе речь идет о комплексном методе проведения исследований, который, как и автоматизированный комплекс аппаратуры должен быть многофункциональным.

В чем сущность комплексного метода? На наш взгляд она состоит в том, что объединяет ряд методов: организационных, измерительных, обработки информации и ее анализа. Сравнение данных, полученных от разных источников, позволит получить более точную информацию и соответственно дать более объективную характеристику о ТС исследуемого объекта.

Любым измерениям на исследуемом объекте должно предшествовать тщательное изучение конструкторской и рабочей документации, всех предшествующих как диагностических, так и ремонтных работ, если такие проводились. Любой отказ, поломка должны стать предметом тщательного

анализа. Следует помнить, что в любой машине, строительной конструкции не могут одновременно выйти из строя все их элементы, Так и в резервуарах, всегда будет какое-либо одно или несколько наиболее слабых элементов конструкции, на которые в первую очередь необходимо обратить внимание. Определить наиболее подверженные риску разрушения элементы конструкции резервуара можно двумя способами, причем они не исключают друг друга, а дополняют. Это тщательный визуальный осмотр всех доступных элементов и инструментальные методы измерения, для металлических резервуаров, например, дефектоскопия сварных швов и измерение толщины стенок и днища. Такие предварительные исследования позволяют рационально скомпоновать автоматизированный измерительный комплекс аппаратуры, выбрать соответствующие поставленным задачам измерения датчики, их количество и места установки. Следует отметить, что большое внимание должно быть уделено программному обеспечению, его универсальности и возможности легко адаптироваться к изменениям в программе измерений и обработке полученной информации. По итогам диагностики и мониторинга проводится анализ их результатов выдается заключение о техническом состоянии резервуара и возможности его дальнейшей эксплуатации.

В заключение отметим, что только сочетание различных методов измерения и обработки их результатов, т.е. комплексный метод диагностики и мониторинга, позволит гарантировано обеспечить надежную и долговременную эксплуатацию резервуаров и всего топливно-энергетического комплекса на УАС Академик Вернадский.

Литература

1. ДБН В1.2-5.2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів [Текст]. – Київ.: Мінрегіонбуд України, 2007.-16 с.
2. Державна цільова науково-технічна програма проведення досліджень в Антарктиці на 2011-2020 роки. Постанова КМУ від 3 листопада 2010 р. №1002, Київ.

Ключевые слова: комплексный метод, металлический резервуар, нефтепродукты, диагностика и мониторинг, безопасная эксплуатация.

УДК 621.318.4

ДЕМПФІРУВАННЯ ПОЧАТКОВИХ КОЛИВАНЬ СУПУТНИКА

Кліштя А. В., Степанковський Ю. В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: akasolaris@gmail.com

Однією з основних проблем при застосуванні на штучному супутнику Землі магнітної пасивної системи орієнтації є забезпечення демпфіруючого моменту. Для вирішення проблеми розсіювання енергії початкового кутового руху супутника відносно його центру мас доцільно використовувати демпфіруючий пристрій, який складається з гістерезисних стрижнів із магнітом'якого

матеріалу. Причому гістерезисні стрижні при обертанні супутника відносно силової лінії поля перемагнічуються.

Демпфіруючий пристрій з використанням гістерезисних стрижнів вважається найбільш надійним та простим в експлуатації. Ефективність використання такого демпфіруючого пристрою визначається швидкістю придушення початкових коливань штучного супутника Землі при виведенні його на орбіту. Гістерезисні стрижні з магнітом'якого матеріалу надійно демпфірують як обертальні, так і коливальні рухи супутника відносно вектору місцевої напруженості геомагнітного поля, але і потребують ретельного математичного моделювання гістерезису та динаміки супутника.

У роботі проводиться дослідження форми та площі петлі гістерезису в залежності від руху які виконує супутник. Розглянуто окремий випадок при якому коливальний рух супутника приймається як рух математичного маятника з необмеженим обертанням. При коливаннях відбувається зміна форми та площі петлі гістерезису.

Проведене математичне моделювання в пакеті MatLab. Отримані результати показали, що при затуханні коливань маятника, площа петлі гістерезису різко зменшується, що, на жаль, призводить до збільшення часу демпфірування коливань.

Ключові слова: демпфіруючий пристрій, магнітна система орієнтації, початкові коливання

УДК 629.7

СТАДІЇ КАЛІБРОВКИ СИСТЕМИ ЗАХОПЛЕННЯ РУХУ

Лакоза С.Л., Мелешко В.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: haksery@rambler.ru

Системи захоплення руху людини широко використовуються в кіно, для дослідження біомеханіки людини і розробки методів реабілітації інвалідів. Система захоплення руху складається з декількох інерціальних вимірювальних модулів (ІВМ). ІВМ складається з трьохвісного датчика кутових швидкостей, трьохвісного акселерометра та трьохвісного магнітометра.

ІВМ та датчики позиційної підсистеми мають бути установлені на чітко визначені місця на тілі. При установці датчиків на визначені позиції на тілі, початкова позиція між датчиками і сегментами тіла точно невідома. Під час калібрування визначається орієнтація і положення ІВМ та позиційних датчиків відносно частин тіла, а також визначаються необхідні параметри тіла.

Виділяють наступні етапи калібрування системи:

1. **Калібрування датчиків ІВМ** (так звана виробнича калібровка). Кожен датчик повинен бути правильно відкалібрований, для того щоб компенсувати

варіації масштабного коефіцієнта, зміщення нулів і похибки виставки вісей чутливості датчиків.

2. **Процедура калібровки у системі координат вимірювального блоку.** Точне знання геометричних співвідношень між системами координат датчиків та вимірювального блоку також є важливим питанням, особливо щодо точності системи. З практичної точки зору, треба знайти значення кінематичних параметрів, що описують орієнтацію системи координат між всіма ортогоналізованих первинних датчиків (етап 1) та вихідною системою координат IBM.

3. **Натільна калібровка системи захоплення руху.** Для оцінки кінематики сегмента у глобальній системі координат необхідно визначити орієнтацію відповідного IBM відносно сегмента, на якому його встановлено, а також необхідно визначити відстані між суглобами. Щоб знайти орієнтацію IBM відносно сегмента існує кілька методів, котрі бажано комбінувати разом для максимальної ефективності. Перший етап натільної калібровки полягає у оцінці положення орієнтації IBM на тілі відносно сегмента установки в статичному положенні. Другий етап калібрування полягає у виконанні рухів, що визначають функціональні осі сегментів тіла. Для визначення орієнтації функціональних вісей використовується і орієнтація IBM, і вимірювання кутова швидкість.

Останнім етапом натільного калібрування для оцінки положення IBM відносно сегмента тіла є повторна оцінка відносної орієнтації IBM, але вже з використанням апріорних знань про відстані між двома точками в кінематичному ланцюгу при виконанні заданого руху.

Ключові слова: калібровка, натільна калібровка, система захоплення руху

УДК 624.953; 004.03

КАНАЛ ВИМІРЮВАННЯ ВІБРАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНСТРУКЦІЙ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Шевчук Д.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: 00012066@ukr.net

На сьогоднішній день питання контролю технічного стану конструкцій, що експлуатуються посідає провідне місце в галузі діагностики. Особливо гостро воно стоїть при забезпеченні безпечного використання складних інженерних споруд та конструкцій різного призначення, до яких відносяться такі відповідальні об'єкти, як: мости, гідротехнічні споруди, сховища небезпечних речовин, електростанції, об'єкти нафтогазової галузі та ін.. Це зумовлено тим, що на практиці є ряд факторів, які сприяють появі дефектів і які не завжди можуть бути враховані розрахунками конструкції на міцність і стійкість. До

таких факторів, в першу чергу, відносяться конструктивні та технологічні похибки, а також експлуатаційні фактори, пов'язані з порушенням умов і режимів експлуатації та з впливом зовнішніх збурень. Під час експлуатації наявні в конструкціях дефекти розвиваються, об'єднуються і з часом можуть призвести до втрати працездатності та до руйнування об'єкту.

Для вирішення задачі контролю технічного стану було розроблено структуру інформаційно-діагностичного комплексу для моніторингу і прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд [1], який за своєю структурою, функціональними можливостями та характеристиками відповідає діючим нормам та вимогам [2]. В основу роботи інформаційно-діагностичного комплексу було покладено концепцію Structural Health Monitoring (SHM). Системи SHM розробляються як розгалужені інформаційні мережі, в яких для реєстрації експлуатаційного навантаження та виникнення дефектів в конструкціях у якості чутливих елементів використовуються датчики, що побудовані на різних фізичних принципах. В системі [1] використовуються датчики вібрації, тензорезистори, інклінометри та газоаналізатор. Вони об'єднуються в єдину інформаційну мережу та інтегровані з обчислювальним та керуючим модулем (центральним діагностичним сервером). Даний комплекс призначений для функціонування в режимі реального часу, він стаціонарний та автоматичний, має сучасне програмне забезпечення і гнучку структуру.

Розробка всієї багатоканальної системи є складним та довготривалим процесом, доцільно провести дослідження основного вимірювального каналу – макету каналу вимірювання вібрації.

Головною задачею вібраційного каналу є визначення та контроль вібраційних характеристик об'єкту. Макет складається з двох перпендикулярно встановлених акселерометрів MS8002.D фірми Colibrus, 14-розрядного АЦП m-DAQ-14 та персонального комп'ютера з програмним забезпеченням для зняття та обробки сигналів. За допомогою даного макету було знято та досліджено сигнали з реального об'єкту. Датчики MS8002.D було попередньо відкалібровано.

Література

1. Пат. № 73310 Україна, МПК G01 M 7/00. Інформаційно-діагностичний комплекс моніторингу і прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд / Бурау Н.І., Кузько О.В., Жуковський Ю.Г., Шевчук Д.В., Цибульник С.О., Заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». Заявка № u 2011 15682, опубліковано 25.09.2012, Бюл. № 18. – 7с.:іл..
2. Шевчук Д.В. Вимоги до розробки інформаційно-діагностичного комплексу моніторингу резервуарів з пальним в умовах Антарктики / Н.І.Бурау, Ю.Г.Жуковський, О.В.Кузько, Д.В.Шевчук, С.О.Цибульник // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С.107-116.

Ключові слова: канал вимірювання вібрації, конструкції в експлуатації, контроль технічного стану.

УДК 531/534

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСА ММГ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ковальчук Ю.В., Бондарь П.М.

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
г. Киев, Украина

E-mail: pbon43@mail.ru

При проектировании подвесов ММГ необходимо обеспечить равенство частот первичных и вторичных колебаний $k_\gamma = k_\beta$ при одновременном максимальном разнесении этих частот от других собственных частот ЧЭ, то есть выполнения условия $k_\beta \ll k_\alpha, k_z$. В качестве объекта исследований выбран ММГ роторного типа с упругим подвесом в виде двух пар торсионов, разведенных под определенным углом φ (Рис. 1). Характерной особенностью ЧЭ есть его экваториальная асимметрия.

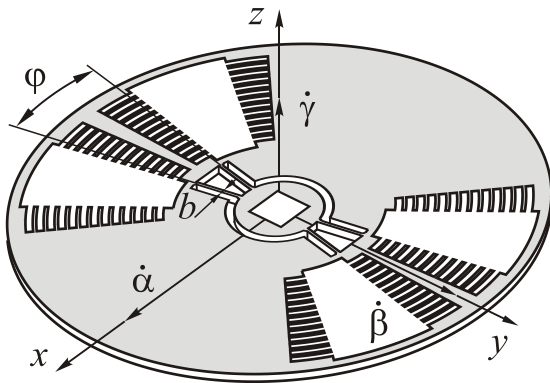


Рис. 1. Чувствительный элемент

Целью работы является исследования зависимости собственных частот от геометрии подвеса – толщины b , высоты h и угла разведения φ торсионов. С этой целью проведено моделирование чувствительного элемента с подвесом в программе “Solid Works”; для частотного анализа был использован тулбокс “Simulation”. В качестве примера на рис. 2 показаны графики зависимости собственных частот от толщины торсионов при фиксированном угле разведения $\varphi = 40^\circ$. Равенство частот $k_\gamma = k_\beta$ достигается при $b=20$ мкм, при этом обеспечивается и условие разнесения частот. Показано, что для увеличения частоты первичных колебаний необходимо одновременно изменять толщину и угол разведения торсионов.

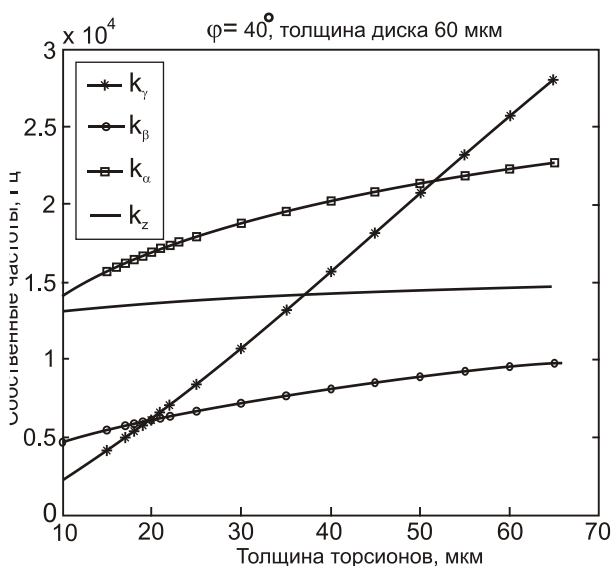


Рис. 2. Зависимость парциальных частот от толщины торсионов

Исследовано также влияние электростатических сил, обусловленных емкостным датчиком съема информации на величину собственной частоты вторичных колебаний.

Проведено упрощение уравнений ММГ на основании численной оценки

каждого из слагаемых.

Ключевые слова: ММГ, упругий подвес, анизотропия.

УДК 531.76

О ХАРАКТЕРИСТИКЕ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ

Лазарев Ю. Ф.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

E-mail: laz@pson.ntu-kpi.kiev.ua

Как известно, алгоритмы бесплатформенных инерциальных систем ориентации (БИСО) осуществляют численное интегрирование дифференциальных уравнений ориентации для оценивания значений текущих углов ориентации подвижного основания по измеряемой информации об его угловой скорости.

При интегрировании нелинейных уравнений ориентации, как показывает тестирование различных алгоритмов БИСО, определяющей по величине является часть погрешности, возрастающая линейно со временем. Ее называют алгоритмическим дрейфом. Скорость этого дрейфа погрешности целесообразно принимать в качестве основной характеристики точности алгоритмов БИСО. В результате многочисленных модельных экспериментов установлены следующие особенности дрейфов алгоритмов: 1) дрейф погрешности определения одного из углов ориентации возникает при колебаниях основания по двум другим углам ориентации с одной частотой; 2) скорость дрейфа существенно зависит от сдвига фаз между колебаниями основания, достигая максимальной величины при определенной величине этого сдвига; 3) максимальная скорость дрейфа (в дальнейшем просто «дрейф») прямо пропорциональна произведению амплитуд колебаний основания по указанным двум углам ориентации; 4) дрейф пропорционален шагу опроса измерителей в некоторой целой степени, определяющей точность алгоритма; 5) дрейф пропорционален частоте колебаний основания в степени, на единицу большей показателя точности алгоритма.

В целом дрейф можно представить в виде $\langle \Delta \dot{\psi} \rangle_{\max} = k \cdot \vartheta_m \varphi_m h^N \omega^{N+1}$, или, в обобщенной безразмерной форме:

$$\delta = k \cdot \mu^N, \quad (1)$$

где обозначено $\delta = \langle \Delta \dot{\psi} \rangle_{\max} / \vartheta_m \varphi_m \omega$ – безразмерный дрейф алгоритма; $\mu = \omega \cdot h$ – частотный параметр (безразмерный); $\langle \Delta \dot{\psi} \rangle$ – модуль средней скорости погрешности оценивания угла ψ ; ϑ_m , φ_m и ω – амплитуды и частота колебаний

основания по углам ϑ , φ ; h – шаг опроса измерителей; N – показатель степени в зависимости дрейфа от частоты.

Таким образом, в качестве обобщенных характеристик точности алгоритмов БИСО наиболее удобно и рационально использовать порядок точности N и постоянный коэффициент k в зависимости (1).

Ключевые слова: алгоритмы БИСО. характеристики точности, дрейф.

УДК 004.04

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ПО ДАННЫМ ВИБРОИЗМЕРЕНИЙ

Цыбульник С.А.

*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
г. Киев, Украина*

E-mail: anteri0r@yandex.ru

Благодаря хорошей математической базе цифровая обработка сигналов используется во многих областях науки и техники, что дает возможность не только понять уже достигнутое, но и эффективно исследовать новые проблемы по мере их возникновения. Несмотря на некоторую сложность применения и анализа, цифровая обработка сигналов уже позволила найти решение ряда важных задач, например, исследования ресурсов Земли с помощью искусственных спутников.

Качественный и всецелый анализ диагностической информации немислим без применения современных специализированных программ или математических пакетов. Для эффективной обработки дискретных сигналов, состоящих в некоторых случаях из десятков и даже сотен тысяч отсчетов (точек), необходимо разрабатывать собственные программы и улучшать уже существующие методы. Однако для демонстрации этих алгоритмов наилучшим образом подходят существующие математические пакеты. Одним из таких пакетов, хорошо приспособленных для обработки сигналов, является MATLAB.

В данной работе проводится обработка и анализ сигналов вибрации, полученных методом свободных колебаний, вертикального стального резервуара объемом $0,04\text{ м}^3$. Исследования данного объекта позволят определить эффективность методики съема информации и методов обработки. Для определения частотного состава вибросигналов были применены как классические, так и другие методы спектрального анализа, реализованные в программной среде MATLAB. Параметрические и непараметрические методы не дали положительных результатов в связи с высокой зашумленностью исходного сигнала. Спектрограмма, напротив, позволила определить частотные составляющие фонового шума и выделить частоты собственных колебаний объекта контроля. Полученные в ходе обработки данные дали возможность скорректировать и усовершенствовать методику проведения измерений.

Наряду с обработкой проведено имитационное моделирование в программном комплексе ANSYS для определения собственных форм и частот колебаний. Поскольку материал конструкции не был определен, данное моделирование проходило для нескольких марок стали, применяемых в подобных конструкциях. Сравнение результатов обработки вибросигналов и имитационного моделирования позволило с высокой вероятностью установить основные механические свойства материала конструкции исследуемого резервуара.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, цифровая обработка, спектральный анализ, САЕ.

УДК 531.383

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСУ МІКРОМЕХАНІЧНОГО ГІРОСКОПА

Мироненко П.С., Павленко Д.О.

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна*

E-mail: mironenko46@rambler.ru

В теперішній час в світі спостерігається підвищена зацікавленості до розробки інтегральних датчиків, які виготовлені за технологією мікросистемної техніки. Стимулюючим фактором розвитку подібних датчиків є зростаюча необхідність в отриманні повної інформації про параметри руху об'єкту, таких як лінійна швидкість, прискорення, кутова швидкість та інші. Ці прилади характеризуються малими масою і габаритами, низьким споживанням електроенергії, можливістю працювати в умовах дії суттєвих збурень.

Для вимірювання кутової швидкості об'єкту існує декілька конструктивних схем побудови датчика. В даній роботі розглядається мікромеханічний гіроскоп з поступальним рухом чутливого елемента (LL-ММГ). В якості елемента керування використовується гребінчаста структура (рамка), всередині якої на балках пружного підвісу закріплено чутливий елемент.

Математичні моделі, яка беруться за основу при дослідженнях, відповідають теоретичним положенням роботи [1]. Але використовуються для розв'язання інших задач - визначення ступеня впливу зміни конструктивних параметрів вимірювача кутової швидкості на вимушений рух елементів датчика та подальшої оптимізації цих параметрів.

Розглянуто найбільш поширені конструктивні і технологічні фактори, які впливають на динаміку, - зміна інерційних характеристик та жорсткості підвісу чутливого елемента. Досліджено залежності власних частот системи від типу дефекту та його величини. Сформульовані вимоги до параметрів гіроскопа за критерієм динамічної точності.

Найбільш важливою ланкою, до якої пред’являються підвищені вимоги, є пружній підвіс. Обчислені основні види напруг, які виникають при згині і крученні торсіонів, і дана оцінка граничних режимів роботи вимірювача кутової швидкості.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці вимог до параметрів пружного підвісу, системи демпфування та точності виготовлення чутливого елемента з метою забезпечення міцності елементів вимірювача та зменшення динамічної похибки.

Література

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Уч. пособие.- Тула, Тульский гос. ун-тет, 2002.

Ключові слова: мікромеханічний гіроскоп, вібраційна похибка.

УДК 621.83.062.1

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГАЛЬМУВАННЯ САМОХІДНИХ МАШИН З ГІДРООБ’ЄМНО-МЕХАНІЧНИМИ ТРАНСМІСІЯМИ

Бондаренко А.І.

*Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”,
м. Харків, Україна*

E-mail: anatoliybon@rambler.ru

Прагнення до безступінчастого регулювання швидкості, спрощення конструкції трансмісії, забезпечення плавності руху з місця, підвищення тягової динаміки та ергономічних властивостей при виконанні різноманітних технологічних операцій, підвищення середніх швидкостей руху по бездоріжжю призвело до необхідності обладнання гідрооб’ємно-механічною трансмісією (ГОМТ) серійно випускаємих самохідних машин (СМ). В той же час з підвищенням транспортних швидкостей СМ з ГОМТ загострюється проблема збереження безпеки в режимі гальмування.

З урахуванням специфіки роботи ГОМТ та особливостей експлуатації СМ з ГОМТ останнім часом посилились вимоги до системи керування процесом гальмування СМ з ГОМТ, яка повинна забезпечити не тільки необхідну керованість та гальмівну ефективність, а й зберегти конструктивну надійність ГОМТ на належному рівні.

За результатами комплексного дослідження процесу гальмування СМ з ГОМТ різних структур було встановлено, що не існує єдиного оптимального способу та закону керування процесом гальмування як при службовому, так і екстремому гальмуванні: найбільш прийнятним службовим способом гальмування, з точки зору навантаження на оператора-водія, є гальмування внаслідок зміни відносного параметра регулювання гідрооб’ємної передачі (ГОП) при збереженні кінематичного зв’язку з двигуном; найбільш прийнятним екстремим гальмуванням –

гальмування з кінематичним відривом двигуна від ведучих коліс [1].

У разі технічної неможливості реалізації при екстремому гальмуванні при кінематичному відриві двигуна від ведучих коліс зміни значення параметрів регулювання гідромашин ГОП відповідно зміні дійсної швидкості СМ (це пов'язано із суттєвим ускладненням системи керування трансмісією) обов'язкові до виконання наступні вимоги: гальмування СМ відбувається до повної зупинки; параметри регулювання гідромашин ГОП протягом гальмування залишаються незмінними і відповідають тому значенню, яке вони мали в момент початку гальмування; в момент повної зупинки СМ система керування ГОМТ повинна забезпечити в автоматичному режимі зміну параметрів регулювання гідромашин ГОП до тих значень, що відповідають нульовій швидкості руху СМ.

Література

1. Динаміка процесу гальмування колісних тракторів з безступінчастими гідрооб'ємно-механічними трансмісіями: Монографія / А.І. Бондаренко. – Харків: вид-во «Федорко», 2015. – 220 с.

Ключові слова: двигун, керування, гальмування, трансмісія.

УДК 629.1.05

ДВУХРЕЖИМНЫЙ КОРРЕКТИРУЕМЫЙ ГИРОСКОП НАПРАВЛЕНИЯ

Мелешко В.В., Мураховский С.А.

*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
г. Киев, Украина*

E-mail: mvv44@mail.ru

В авиации, на наземном транспорте давно используется гироскоп направления (ГН). Гироскопические приборы являются автономными, помехозащищенными. Однако в автономном режиме они имеют уходы как инструментальные, так и методические. Широкие возможности современных средств микропроцессорной техники, а также значительный прогресс в развитии новых средств навигации открывают дополнительные возможности в модернизации ГН.

В настоящее время широко используются спутниковые навигационные системы (СНС). Они имеют высокую точность определения координат объекта и его скорости. Однако их недостатком является незащищенность от помех, в том числе и специально созданных.

Возможности комплексирования (интегрирования) ГН и СНС значительно расширяются при использовании в ГН интегратора в канале горизонтальной коррекции. В этом случае на выходе интегратора может быть определена северная составляющая скорости движения объекта, если ось вращения гиromотора (а с ней и ось чувствительности акселерометра системы горизонтальной коррекции) направлена на север. Если ось гиromотора отклонена от направления на север, на выходе интегратора получим сумму

проекции северной и восточной составляющих скорости объекта.

Данные о широте и скорости движения, выдаваемые СНС, полезно использовать для устранения видимого ухода из-за вращения сопровождающего трехгранника.

При комплексировании целесообразно использовать фильтр Калмана, для которого входными сигналами могут быть как угол отклонения оси гиросмотора от плоскости горизонта при движении с постоянной скоростью, так и данные о скорости на выходе интегратора. Лучшие результаты получают при одновременном использовании этих сигналов.

В итоге с помощью фильтра 9-го порядка можно получить оценки углов отклонения гироскопа от полуденной линии, ошибку определения скорости в канале горизонтальной коррекции, а также оценки ухода гироскопа в горизонтальном канале и оценки погрешностей акселерометров.

Управление прибором производится по полученным оценкам угловых ошибок. Достижима точность порядка единиц угловых минут. При изменении схемы управления можно перейти в режим корректируемого гироскопа.

Ключевые слова: гироскоп направления, спутниковая навигационная система, фильтр Калмана, коррекция.

УДК 531.383

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ У ПРОЕКТУВАННІ АЛГОРИТМІВ СУЧАСНИХ БЕЗПЛАТФОРМОВИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Сапегін О. М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: sapegin_a@ukr.net

В основі роботи безплатформової інерціальної навігаційної системи (БІНС) покладено алгоритм чисельного інтегрування вектора прискорення об'єкту.

Клас безплатформових інерціальних навігаційних систем виділився ще в 60х роках минулого століття. В той час єдиним застосуванням для них були системи керування військовими літаками, ракетним озброєнням. Через недосконалість розрахункових засобів, ці системи не могли забезпечити надійного інтегрування точних алгоритмів. Основні зусилля були направлені на створення швидких і надійних алгоритмів БІНС.

Стрімкий розвиток електроніки та технології, призвів до значного здешевлення навігаційних систем. Стало можливим і набуло широкого розповсюдження цивільне використання БІНС. Аналіз досліджень у цій галузі за останні десять років показав, що стало можливим проектувати бюджетні компактні системи, використовуючи мікромеханічні акселерометри і гіроскопи та використовувати потужні бортові комп'ютери. Окремим напрямком стало проектування БІНС споріднених з супутниковими навігаційними системами. Це

дозволило значно покращити точність і надійність отримання навігаційної інформації користувачами.

Проте, разом із перевагами вартості і габаритів, ці системи мають суттєві недоліки – недостатня точність датчиків, що призводить до швидкого накопичення похибки. Використання у якості коригуючого засобу супутникові системи також не завжди можливо, особливо у військовому застосуванні.

Розробка сучасних високоточних БІНС для військового застосування повинна ґрунтуватися на використанні високоточних алгоритмів чисельного інтегрування прискорення та надійних і точних гіроскопічних приладах. Використання БІНС на базі мікромеханічних гіроскопів і акселерометрів, з використанням супутникової корекції, доцільне для цивільного використання.

Література

1. Лазарев Ю. Ф., Бобровицька Я. Г. Розроблення і моделювання алгоритмів безплатформової системи орієнтації. - К.: НТУУ "КПІ", 2011.
2. Михалкин К. С. Использование MEMS-датчиков в навигации / Михалкин К. С. // Авиакосмическое приборостроение. – 2007. №4. – С.2-6.
3. Слюсарь, В.М. Актуальные вопросы проектирования алгоритмов ориентации БИНС. Ч. 1: Амплитудное расширение области применения алгоритмов / В.М. Слюсарь // Гироскопия и навигация. - 2006.-№1. – С. 61-75.

Ключові слова: безплатформова навігація, алгоритм інтегрування, супутникові навігаційні системи.

УДК 629.7.054

ВЛИЯНИЕ АНТИСИММЕТРИЧНОГО ИМПЕДАНСА ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОРПУСА ПОПЛАВКОВОГО ГИРОСКОПА НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РЕЗОНАНСА

Карачун В.В., Фесенко С.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

E-mail: karachun11@i.ua

Установлено, что “акустически прозрачным” корпус прибора становится при значениях угла падения волны $\theta = 10^0$ (в этом случае интенсивная перекачка звуковой энергии осуществляется изгибной волной корпуса и зависит от частоты f акустического излучения), а также при значениях угла $\theta = 5^0 10'$, когда интенсивную трансляцию звуковой энергии осуществляет окружная, по параллели, волна, которая не зависит от частоты излучения.

Эти два значения угла θ наиболее опасны, так как способствуют практически беспрепятственному прохождению внутрь прибора, точнее в жидкостатическую часть подвеса, акустического излучения извне.

Симметричная составляющая. В этом случае предполагается, что импеданс $Z_c \square Z_a$, т.е. сопротивление материала корпуса антисимметричным (изгибным)

колебаниям значительно больше сопротивления симметричным колебаниям. В этом случае имеет место соотношение

$$c_{II} = \frac{c_{\theta}}{\sin \theta}, \quad (1)$$

где $c_{II} = \left[E \rho_k^{-1} (1 - \sigma^2)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}}$ - скорость распространения продольной (окружной) волны.

Равенство (1) определяет явление волнового совпадения при *симметричных* колебаниях корпуса, которое возникает каждый раз, когда след падающей и продольной волны совпадают. Причем, *совпадение зависит только от угла падения волны и может проявляться на любой частоте излучения.*

Полунатурная стендовая аттестация ДУСУ. С целью подтверждения аналитических предпосылок на предмет проявления резонансных особенностей подвеса в поле ультразвукового луча, была проведена оценка погрешности прибора при облучении его ультразвуковым лучом частоты 42 кГц. Речь идет о создании резонансной обстановки продольной (окружной) волной.

Как и предполагалось, при угле падения звуковой волны $\theta = 5^{\circ}03'$ продольная волна формирует резонанс совпадений в жидкостатической части подвеса и погрешность прибора достигает $0,32 \text{ град } c^{-1}$.

Ключевые слова: жидкостатический подвес, волновое совпадение, импеданс

УДК 629.7.054

ВОЗНИКАЮЩИЕ ОСОБЕННОСТИ В ПОПЛАВКОВОМ ПОДВЕСЕ ГИРОСКОПА ПРИ ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Мельник В.Н., Бойко Г.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

E-mail: karachun11@i.ua

Для изгибных волн в корпусе поплавкового гироскопа класса ДУСУ может наблюдаться волновое совпадение изгибных волн только на частотах выше $f_{\text{зп}}$. В тоже время, для окружных (продольных) волн, напротив, волновое совпадение может иметь место при частотах, не выше ω_{ij} (радиальных собственных упругих колебаний кольца шпангоута).

Строго говоря, в оболочке может иметь место еще одно, *комбинированное*, совпадение. Это следует из формулы :

$$\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{зп}}} \right)^2 \sin^4 \theta + \left(\frac{\omega_{III}}{\omega} \right)^2 \sin^4 \psi = 1. \quad (1)$$

В случае диффузного облучения, коэффициент звукопроницаемости корпуса прибора определяется операцией осреднения по Пэрису, т.е.

$$\tau_{\theta\psi} = \int_0^{\pi} \int_0^{\pi} \tau \sin 2\theta \partial\theta \partial\psi, \quad (2)$$

где величина τ определяется известной формулой. Интегрируя это выражение, целесообразно рассматривать отдельно диапазоны частот. Например, так:

$$1) \omega < \omega_{III}; \quad \omega < \omega_{zp}; \quad 2) \omega_{III} < \omega < \omega_{zp}; \quad 3) \omega_{III} < \omega; \quad \omega_{zp} < \omega.$$

Таким образом, удастся установить, что изгибные колебания корпуса ($Z_a \ll Z_c$), способны породить волновое совпадение только на частотах ω **превышающих граничную частоту** ω_{zp} , $\omega_{zp} < \omega$. Причем, каждой частоте ω соответствует свой угол совпадения θ_c .

С другой стороны, продольные колебания корпуса ($Z_c \ll Z_a$), могут кроме уже выявленного резонанса совпадения для плоской модели, установить на расчетной модели оболочки условия возникновения еще одного резонанса – равенства следа длины окружности шпангоута и длины продольной волны. Причем, оба эти резонанса могут возникать только на частотах, **ниже граничной**, т.е.

$$\begin{aligned} \omega \ll \omega_{zp} &= 23\,757 \text{ рад с}^{-1} \quad (f_{zp} = 3783 \text{ Гц}); \\ \omega \ll \omega_{III} &= 255\,998 \text{ рад с}^{-1} \quad (f_{III} = 40764 \text{ Гц}). \end{aligned} \quad (3)$$

Ключевые слова: зоны каустик, жидкостатический подвес, волновое совпадение.

УДК 621.327

СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ В GUI FDATAOOL

Сопілка Ю.В., Вовк О.С.

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна*

E-mail: sopilk@ukr.net

Зручним засобом для синтезу цифрових фільтрів є GUI FDATAool, що входить в пакет Matlab. GUI (Graphic User Interface - графічний інтерфейс користувача) призначений для моделювання шляхом інтерактивного спілкування без прямого доступу до програмних засобів з графічним виведенням результатів. Програма GUI FDATAool (Filter Design and Analysis Toolbox - засоби проектування та аналізу фільтрів) розроблена на основі пакетів розширення Signal Processing Toolbox і Filter Design Toolbox.

FDATAool може використовуватися: для проектування фільтрів, у тому числі адаптивних і багатошвидкісних, для аналізу цифрових фільтрів, для

модифікації існуючих фільтрів, для квантування фільтрів і аналізу результатів квантування, для виконання частотних перетворень цифрових фільтрів.

Після запису у вікні FDATool специфікацій на фільтр у відповідності до вимог до нього (тип в залежності від розташування смуг пропускання і затримки, частоти зрізу, допустимі відхилення АЧХ) і виборі метода проектування (нерекурсивний СІХ-фільтр, рекурсивний НІХ-фільтр) за командою натисканням лише однієї кнопки Design Filter розраховуються всі характеристики цифрового фільтру і його коефіцієнти. Потрібна характеристика виводиться на екран при натисканні лівою кнопкою миші по відповідній кнопці на панелі інструментів. Після натискання на будь-яку точку характеристики з’являються її координати.

Синтез є початковим етапом проектування фільтру, результатом якого є функціональна схема з коефіцієнтами. Легкість отримання характеристик синтезованих фільтрів відкриває широкі можливості для їх дослідження, виявлення залежностей параметрів характеристик від параметрів фільтру.

Розв’язувати задачі реалізації алгоритмів синтезу цифрових фільтрів при довільно заданих специфікаціях на фільтр, а також задачу реалізації алгоритмів обробки гармонічних сигналів синтезованими фільтрами, можна безпосереднім застосуванням елементів написання програмного коду Matlab.

Ключові слова: цифрова обробка сигналів, цифрові фільтри, Matlab, FDATool.

УДК 531.383

ВИСТАВКА ІНС З ПІД-РЕГУЛЯТОРАМИ

Аврутов В.В., Стефанишин З.С.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: vyshgorod@gmail.com

Основу сучасної навігації складають інерціальні навігаційні системи (ІНС) як найбільш універсальні і автономні джерела інформації, так як вони дають повну інформацію про параметри руху об’єкту.

Виставка ІНС є важливим етапом їх роботи. Процес виставки ІНС можна розділити на грубу і точну виставку. Для платформних ІНС груба виставка складається з процесу «горизонтування» платформи - приведення платформи в площину горизонту, і процесу «гірокомпасування» - приведення платформи в площину меридіана.

Точна виставка платформних ІНС передбачає для корекції використання альтернативних джерел навігаційної інформації, наприклад, супутникових навігаційних систем, доплерівських вимірювачів швидкості і т.п.

Об’єктом дослідження є ІНС, побудована на базі тривісної гіростабілізованої платформи, трьох гіроскопів і двох акселерометрів.

Кінематична схема ІНС представлена на рис. 1.

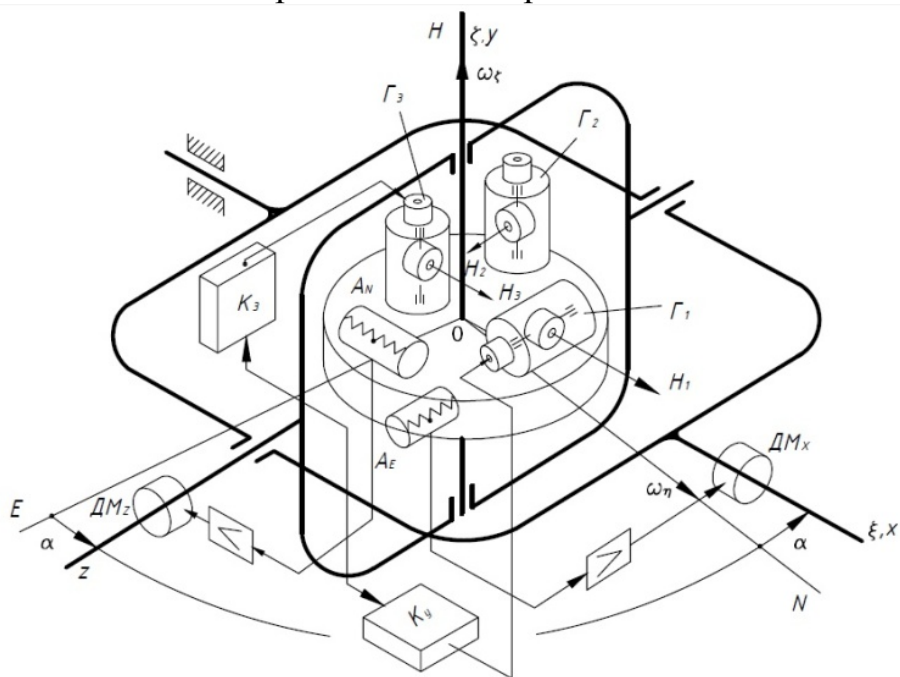


Рис. 1. Кінематична схема ІНС

Отримано диференціальні рівняння процесів горизонтування і гірокомпасування платформи для випадків позиційної, інтегральної і інтегрально-позиційної корекції. Дано оцінку впливу похибок гіроскопів і акселерометрів на точність виставки.

Ключові слова: інерціальні навігаційні системи, гірокомпасування, горизонтування.

УДК 531.76

РАЦИОНАЛЬНАЯ ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ БИСО

Лазарев Ю.Ф., Аксёненко П.М.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина

E-mail: laz@pson.ntu-kpi.kiev.ua

Модельные исследования показали, что вид зависимостей амплитуды дрейфов от шага опроса измерителей практически не зависит от частоты и амплитуд, приводя лишь к изменению масштабов. При этом, если перейти от абсолютных величин дрейфов к изучению их отношения δ к величине произведения частоты колебания основания на произведение амплитуд этих колебаний вокруг двух взаимноперпендикулярных осей, а в качестве аргумента принять не шаг опроса, а так называемый частотный параметр μ (произведение частоты на шаг опроса), т.е. изучать зависимость $\delta(\mu)$, то эти зависимости

сохраняются неизменными при любых значениях параметров колебаний основания и шага опроса.

Покажем это на примере двухшаговых алгоритмов вычисления вектора ориентации при измерении вектора угловой скорости основания. Для этого используем алгоритмы “Pan-121к” на основе скорректированной формулы (3.3.121) , [2], “Pan-126к” – скорректированная формула (3.3.126), “Pan-15” – (3.3.15), и Nov – предлагаемый авторами. Результаты V-тестирования [1] при трех значениях частоты колебания основания приведены на рисунках 1, 2 и 3.

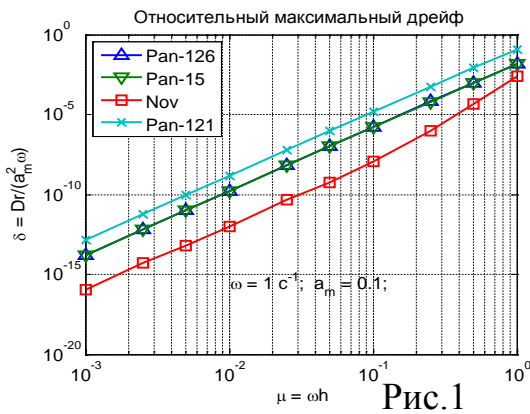


Рис. 1

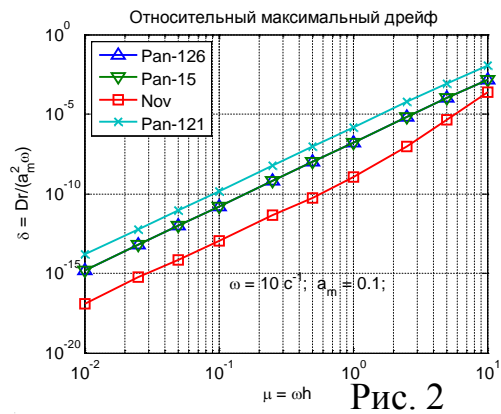


Рис. 2

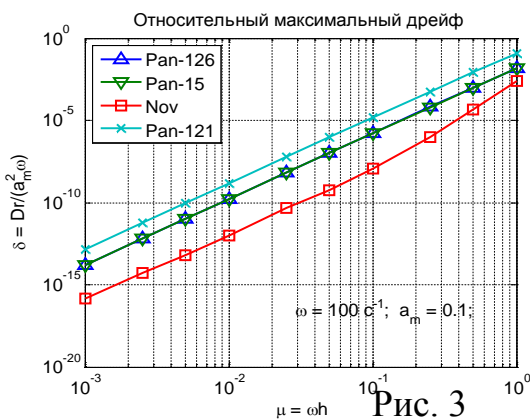


Рис. 3

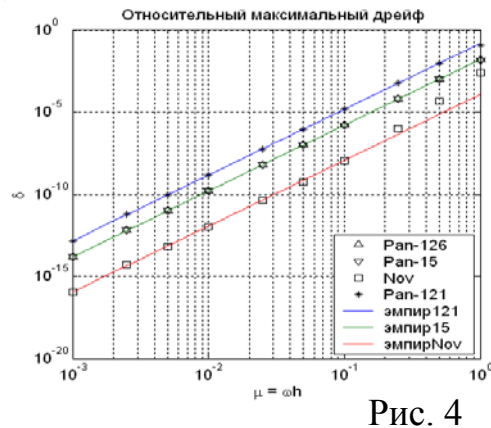


Рис. 4

На рисунке 4 представлены обобщенные зависимости $\delta(\mu)$, которые можно аппроксимировать следующими степенными зависимостями.

$$\delta_{126} \approx 0,016 \cdot \mu^4 \quad \delta_{15} \approx 0,016 \cdot \mu^4 \quad \delta_{121} \approx 0,148 \cdot \mu^4 \quad \delta_{Nov} \approx 0,000115 \cdot \mu^4$$

Предлагаемая форма представления погрешностей является наиболее рациональной, объединяющей изучаемые зависимости погрешности при произвольных частотах и амплитудах колебаний основания.

Литература

1. Слюсарь В.М. Актуальные вопросы проектирования алгоритмов ориентации БИНС. Ч.1. Амплитудное расширение области применения алгоритмов // Гироскопия и навигация. - № 2 (53), 206. – С. 61-75.
2. Панов А. П. Математические основы теории инерциальной ориентации / А. П. Панов. – К.: Наукова думка, 1995. – 280 с.

Ключевые слова: БИСО, алгоритм.

УДК 531.76

ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БИСО НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПИКАРА И УРАВНЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ПУАССОНА

Сандий А. А., Лазарев Ю. Ф.

*Национальный технический университет «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

E-mail: laz@pson.ntu-kpi.kiev.ua

Проведено V-тестирование трех алгоритмов бесплатформенной инерциальной системы ориентации (БИСО) второго, третьего и четвертого порядков точности, построенных на основе применения метода Пикара к матричному уравнению Пуассона.

Установлено, что максимальная величина дрейфа погрешности оценивания угла ψ для методов четного порядка достигается при сдвиге фаз 90° , а для методов нечетного порядка при 0° между колебаниями по углам ϑ и φ (рис. 1).

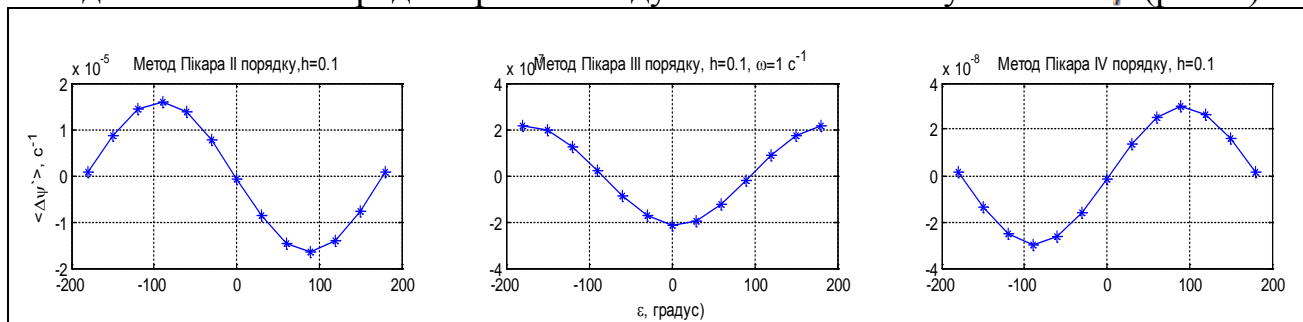


Рис. 1.

Определены величины максимальных дрейфов и построены графики (рис.2) их зависимости от шага опроса. Эксперименты повторены при трех значениях частоты колебания основания ($\omega = 1; 10; 100 \text{ c}^{-1}$).

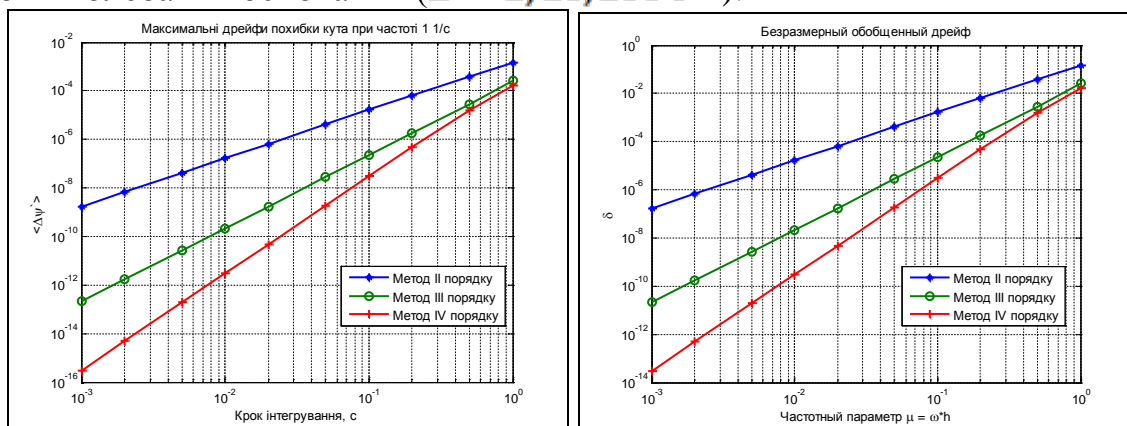


Рис. 2.

Рис. 3.

При переходе к безразмерному дрейфу $\delta = \frac{|\Delta\psi|_{max}}{\omega \cdot \vartheta_m \cdot \varphi_m}$ и безразмерному частотному параметру $\mu = \omega \cdot h$ все три графика с разными значениями частоты сливаются в один график (рис.3).

Последние графики можно удовлетворительно аппроксимировать следующими эмпирическими зависимостями:

$$\delta_2 = 0.16 \cdot \mu^2, \delta_3 = 0.028 \cdot \mu^3, \delta_4 = 0.018 \cdot \mu^4.$$

Ключевые слова: алгоритмы БИСО, метод Пикара, уравнения Пуассона, дрейф.

УДК 611.71:611.73; 621.3

СТВОРЕННЯ МАКЕТУ КІБЕРПРОТЕЗА РУКИ

Грандюк А.І., Павловський О.М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: a_pav@ukr.net

Аналіз проблеми створення протезів кінцівок для постраждалих показав, що сучасний рівень науково-технічного прогресу дозволяє створити кібернетизований маніпулятор, який дозволить виконувати усі функції втраченої кінцівки. Основною проблемою, що постає при виготовленні такого кіберпротезу, є складність та дороговизна його функціональних елементів, а отже це робить його недоступним для більшості постраждалих. Таким чином, було запропоновано створити маніпулятор, який зможе відтворювати всі жести кисті людини, а у подальшому буде виконувати функції протезу, за умови його економічної доступності.

Першим етапом вирішення поставленої задачі є створення загального каркасу протезу, що здатний відтворювати основні жести людської кисті. Основні рухливі елементи протеза, а також його зовнішній каркас, планується виготовити з армованого ABS-пластика з використанням технології 3D-друку.

Незважаючи на відносно невисоку міцність матеріалу, його використання дозволить зменшити вагу готового виробу, а також легко замінити пошкоджені елементи.

У якості керуючого ядра було обрано мікроконтролер (МК) фірми Atmel ATmega328-PU. Функції МК зводяться до обробки сигналів одержуваних від датчиків, а також керування п'ятьма сервоприводами моделі SG-90. Тому, не дивлячись на невисокі показники продуктивності вибраного мікроконтролера, його використання повністю задовольняє поставлене завдання, а також істотно знижує загальну вартість протеза. Живлення протезу і набору датчиків буде здійснюватись за допомогою двох акумуляторних батарей типу 26650 (3.6 В) ємністю 4Агод, що достатньо для функціонування на протязі 6 год.

Для узгодження рухів кінцівки і протезу планується розробити керуючу печатку, із набором тензодатчиків, мікроплати з акселерометром, магнітометром і гіроскопом. Вона дозволить відстежувати рухи пальців і положення руки, що дає можливість з великою точністю копіювати рух

оператора. Проте однією із найголовніших задач для вирішення, є передача керуючих сигналів від людини на виконуючий пристрій протеза.

Основними шляхами удосконалення запропонованого пристрою для його повсякденного використання є: збільшення міцності та зменшення ваги, заміна керуючих елементів на більш енергоефективні, збільшення кількості серопроводів для виконання складних рухів і т.д.

Ключові слова: кіберрука, протез руки, керування рухом, макет

УДК 629.7.05

БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ОПТИКО – ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ КОРРЕКЦИИ

Гуриненко С.О.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

E-mail: stas_gurinenko@ukr.net

Как известно, существенным недостатком БИНС является накопление ошибок определения угловых параметров с течением времени. В общем виде накопление ошибки определение угловых координат можно представить в виде:

$$\alpha = \omega_{др} * t + АД + \mu(t) * t,$$

где $\omega_{др}$ – угловая скорость дрейфа гироскопа, АД – алгоритмический дрейф методов интегрирования, $\mu(t)$ – шум прибора. Ошибка определения угловых координат влечет за собой ошибку определения координат местоположения объекта. Для высокоточных и высокоманевренных объектов ошибка составляющая единицы угловых минут является недопустимой ошибкой.

В настоящее время высокая точность определения навигационных параметров может быть достигнута путем комплексирования БИНС и оптической системы, которая будет использоваться, как источник информации начальных значений для довыставки БИНС в основном режиме работы.

На ЛА расположен лазерный маяк, обеспечивающий сканирование около земного пространства, в котором развертка лазера выполняется построчным способом, который применяется в телевидении и группы разнесенных фотоприемников P1, P2, P3, которые принимают лазерное излучение и после демодуляции полученных сигналов формируется три сигнала $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, об угловом положении фотоприемников по азимуту и по высоте $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ в географической системе координат, при этом координаты фотоприемников P1($B_x, 0, 0$), P2($0, B_y, 0$), P1($0, 0, B_z$), в системе связанной с объектом, известны.

Методами аналитической геометрии получена система, решение которой дает навигационную информацию об объекте:

$$\left\{ \begin{array}{l} (B_x \cos \psi \sin \vartheta + x_0) \sin \beta_1 = (B_x \sin \vartheta + y_0) \cos \alpha_1 \cos \beta_1 \\ (-B_x \sin \psi \cos \vartheta + z_0) \sin \beta_1 = (B_x \sin \vartheta + y_0) \sin \alpha_1 \cos \beta_1 \\ (B_y (\sin \gamma \sin \psi - \cos \gamma \cos \psi \sin \vartheta) + x_0) \sin \beta_2 = (B_y \cos \vartheta \cos \gamma + y_0) \cos \alpha_2 \cos \beta_2 \\ (B_y (\sin \gamma \cos \psi + \cos \gamma \sin \psi \sin \vartheta) + z_0) \sin \beta_2 = (B_y \cos \vartheta \cos \gamma + y_0) \sin \alpha_2 \cos \beta_2 \\ (B_z (\cos \gamma \sin \psi + \sin \gamma \cos \psi \sin \vartheta) + x_0) \sin \beta_3 = (-B_z \cos \vartheta \sin \gamma + y_0) \cos \alpha_3 \cos \beta_3 \\ (B_z (\cos \gamma \cos \psi - \sin \gamma \sin \psi \sin \vartheta) + z_0) \sin \beta_3 = (-B_z \cos \vartheta \sin \gamma + y_0) \sin \alpha_2 \cos \beta_3 \end{array} \right.$$

Решение полученной нелинейной системы может обеспечить полное решение задачи навигации и ориентации ЛА. Выходные величины $x_0, y_0, z_0, \psi, \vartheta, \gamma$ могут служить начальными параметрами для довыставки БИНС на подвижном объекте.

Ключевые слова: бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), оптико – электронная система ориентации и навигации

УДК 629.7.054

ДІЯ НА ДКШУ КІНЕМАТИЧНОГО І АКУСТИЧНОГО ЗБУРЕНЬ

Шибєцький В.Ю., Фесенко С.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
м. Київ, Україна
E-mail: illusionfes@mail.ru*

Одним з найбільш перспективних напрямів розвитку авіабудування на сьогодні є гіперзвукові технології, що мають ряд переваг над сучасними конструкціями цивільних і військових апаратів. Але, поряд з цим, необхідно звернути увагу на проблеми, що виникають під час експлуатації таких ЛА, зокрема, взаємодія з потужними акустичними полями у вигляді N-хвилі.

Виходячи з вище зазначеного являє певний інтерес аналіз похибки ДКШУ при спільному впливі кінематичного збурення з ультразвуковим випромінюванням (рис. 1). В цьому випадку спектр кутового руху поплавця стає більш насиченим (в порівнянні з впливом виключно кінематичного збурення), причому явно присутня систематична складова у вихідному сигналі. Розкид значень збільшується і перевищує в 2-3 рази значення за кінематичного збурення.

Таке насичення спектра похибки $\Delta\omega$ пояснюється наявною суперпозицією кінематичної похибки $\Delta\omega_k$ і акустичної похибки $\Delta\omega^a$. Причому вони обидві містять дві складові. Перша обумовлена впливом Ейлерових сил інерції в зоні акустичного і кінематичного впливів, що породжують збурюючі моменти. До речі, має місце ефект вибірковості частот кінематичного збурення та акустичної вібрації поверхні підвісу гіроскопа. Акустична похибка обумовлена впливом ультразвукового променя на оболонкову частину поплавкового підвісу на резонансному рівні у вигляді зон каустики.

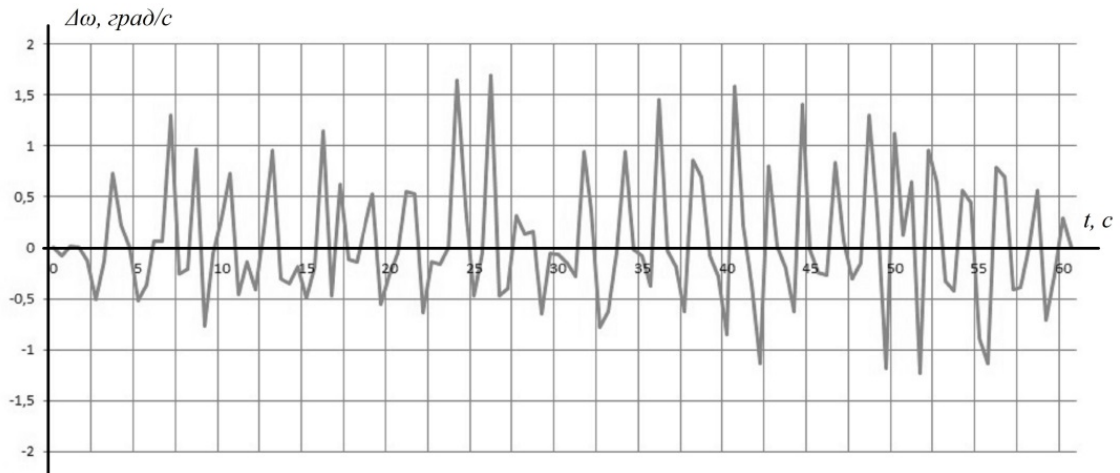


Рис. 1. Вихідний сигнал ДКШУ при одночасній дії кутової хитавиці та ультразвукового випромінювання

Ключові слова: гіперзвуковий літальний апарат, датчик кутових швидкостей, ультразвуковий промінь, кінематичне збурення.

УДК 535.1

МЕТОДИКА ОБРОБКИ ДАНИХ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

Нелепов В.А.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

E-mail: nelepov.vitalii@gmail.com

Магнітне поле (МП) в будь-якій точці об'єкту є сумою магнітного поля Землі (МПЗ) та магнітного поля об'єкту (МПО) і описується рівнянням Пуассона:

$$X' = X + aX + bY + cZ + P;$$

$$Y' = Y + dX + eY + fZ + Q;$$

$$Z' = Z + gX + hY + kZ + R;$$

де X', Y', Z' - проєкції вектору напруженості сумарного магнітного поля на осі, пов'язані з об'єктом; X, Y, Z – складові вектору напруженості МПЗ; a, b, c, \dots, k – параметри Пуассона; P, Q, R – проєкції напруженості магнітотвердого заліза.

Для забезпечення вимірювання компонентів МПЗ необхідно визначити параметри МПО.

Метод визначення параметрів МП [1] полягає у встановленні на об'єкті додаткової феромагнітної маси (ДФМ), яка переорієнтується відносно об'єкту швидше, ніж сам об'єкт. Виконується вимірювання МП при різних положеннях ДФМ. Різниця двох таких вимірів залежатиме тільки від параметрів МП ДФМ. Здійснивши необхідну кількість вимірів, можна скласти систему рівнянь, розв'язком якої буде добуток складових МПЗ та відповідних параметрів

Пуассона ДФМ. Розділити множники для визначення компонентів МПЗ можна, здійснивши ряд вимірів при впливі на ДФМ відомого МП. Параметри МП об'єкта знаходяться шляхом проведення вимірів сумарного МП за різних значень орієнтації об'єкта і складання відповідної системи рівнянь.

Проведені дослідження шляхом моделювання показали, що точність роботи методу залежить від методики обробки даних, зокрема від діапазону переорієнтації ДФМ та об'єкту в процесі складання системи рівнянь, кроку вимірів, швидкості переорієнтації ДФМ. Підібрані оптимальні параметри обробки даних забезпечують коректну роботу методу і похибку визначення компонентів МП не більшу за 2,5%.

Література

1. Бледнов В. А. Основные принципы определения компонент магнитного поля Земли на движущихся ферромагнитных носителях // 1997. – Т. 167. – №10. – С. 1113–1118.

Ключові слова: магнітне поле Землі, параметри Пуассона.

УДК.681.5.015.4

АНАЛИЗ СХЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ УЧЕТЕ НЕЛИНЕЙНОГО ХАРАКТЕРА ИЗМЕРЕНИЙ

Мансур Мостафа Эльсайед Эльсайед

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: mostafa.e.mansour@gmail.com

При комплексной обработке избыточных навигационных измерений широко применяется хорошо развитый к настоящему времени аппарат теории фильтрации [1-3]. При этом весьма важным является этап постановки задачи, позволяющий корректно решать не только задачу синтеза алгоритма, но и задачу анализа точности и исследования свойств получаемых оценок. В то же время нередко при решении прикладных задач этому этапу уделяется недостаточное внимание, а основные усилия направляются на разработку алгоритмов, что существенно затрудняет решение задачи анализа точности. Основные сложности здесь возникают при использовании нелинейных измерений [4, 5].

В работе исследуется ряд возможных постановок задач фильтрации, нередко возникающих при комплексной обработке навигационной информации, в частности, при коррекции показаний навигационных систем. Приводятся возможные постановки задач фильтрации, при этом выделяется класс так называемых инвариантных и неинвариантных постановок. Обсуждаются их основные отличительные особенности и специфика свойств получаемых оценок. Отдельно выделяется случай, существенно нелинейных задач, при котором не удается использовать линеаризованный вариант описания измерений.

Литература

1. Grewall M., Weill L.R., and Andrews A.P. (2013) Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. N.Y.:John Wiley & Sons. Third Edition.
2. Степанов, О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Часть 1. 2010// Введение в теорию фильтрации . ЦНИИ 2011.
3. Gibbs, Bruce P. (2011) Advanced Kalman Filtering, Least-Squares and Modeling: A Practical Handbook, John Wiley&Sons, Inc.
4. Степанов, О.А. (2003) Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. 2003.
5. Gustafsson, F., Gunnarsson, F., Bergman, N., Forssell, U., Jansson, J., Karlsson, R., and Nordlund, P.-J. (2002) Particle Filters for Positioning, Navigation and Tracking, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 50, no. 2, pp. 425–437.

Ключевые слова: теория фильтрации, постановка задачи, нелинейные измерения, навигационная система, коррекция.

УДК 62-752.4:621.373.8

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕРМОКОМПЕНСАЦИЯ ТРЕХОСНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Головач С.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г.Киев, Украина*

E-mail: golovach.s@meta.ua

В классическом варианте построения бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) основной ее частью является блок измерительных датчиков для определения в инерциальном пространстве углового и линейного положения объекта, на котором установлена БИНС. В состав такого блока часто входят маятниковые или микромеханические акселерометры (АК). Главным недостатком таких АК является высокая температурная зависимость показаний их чувствительных элементов, что приводит к увеличению погрешности определения линейного положения объекта в инерциальной системе координат [1]. Влияние колебаний температуры внешней среды на работу чувствительных элементов АК устраняют путем различных конструктивных решений, суть которых заключается в термостатировании акселерометрического [2] блока датчиков.

Измерительный канал трехосного АК в составе исследуемого БИНС представляет собой совокупность первичных измерителей кажущегося ускорения и блока обработки аналоговых сигналов. В качестве первичных измерителей используются маятниковые акселерометры. Конструктивное и схемотехническое решение блока обработки аналоговых сигналов предусматривает наличие в его составе интегрирующего АЦП с уравниванием заряда и термодатчика [3]. Температурный дрейф этого блока проявляется в том, что при неизменном во времени и не зависящем от температуры значении входного тока наблюдается недопустимо большое с

точки зрения точности АК изменение значений выходных кодов, вызванное влиянием изменения температуры окружающей среды.

Комплексная термокомпенсация трехосного АК предусматривает два этапа:

– термокомпенсация блока преобразования сигналов, выполняемая до полной сборки БИНС с использованием его собственного термодатчика, устраняющая влияние температуры непосредственно окружающей блок внешней (по отношению к нему) среды;

– термокомпенсация канала преобразования сигналов акселерометров, выполняемая после полной сборки БИНС на этапе его комплексной отладки и калибровки и устраняющая влияние не учтенных предыдущим этапом факторов, определяющих зависимость показаний акселерометров от температуры внешней по отношению к корпусу всего изделия среды.

В практике определения температурных зависимостей широко используется подход с применением нормированных аппроксимирующих функций, в соответствии с которым температурная зависимость аддитивной дополнительной погрешности типа смещения нуля может быть представлена следующим образом:

$$\Delta N_{x(y,z)}(N_t) = \Delta N_{x(y,z)}(0) + \Delta^{max} \Delta N_{x(y,z)} \times F_s^T(N_t), \quad (1)$$

где $\Delta N_{x(y,z)}(0)$ – значение приведенного к выходу смещения нуля, зафиксированное при температурных испытаниях в нормальных условиях работы; $\Delta^{max} \Delta N_{x(y,z)}$ – максимальное изменение смещения нуля, зафиксированное в рабочем диапазоне температур; $F_s^T(N_t)$ – нормированная аппроксимирующая функция. Обычно такая функция представляет собой степенной ряд вида:

$$F_s^T(N_t) = a_1 \times N_t + a_2 \times (N_t)^2 + \dots + a_q \times (N_t)^q \quad (2)$$

где q – порядок функции.

Для экспериментального определения коэффициентов аппроксимирующих функций был использован опытный образец трехосного АК, который в течение 12 часов подвергался температурным воздействиям в термокамере.

Литература

1. J.Mackley, S.Nahavandi. Active temperature compensation for an accelerometer based angle measuring device // Robotics: trends, principles, and applications : proceedings of the Sixth Biannual World Automation Congress (WAC), ISORA, Seville, Spain, TSI Press, Albuquerque, N.M. –2004. – P.1-6.
2. David H. Titterton, John L. Weston. Strapdown Inertial Navigation Technology - 2nd Edition / David H. Titterton – Institution of Electrical Engineers, United Kingdom, 2004.– P.156-157.
3. IEEE, 2005. IEEE Recommended Practice for Inertial Sensor Test Equipment, Instrumentation, Data Acquisition and Analysis // IEEE Std. 1554-2005.

Ключевые слова: акселерометр, термокомпенсация, БИНС.