

СЕКЦІЯ 1

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

УДК 621.375

АНАЛИЗ КОНТУРА ВОЗБУЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЯМИ КОРИОЛИСОВА ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА

*Бакалор Т.О., Бондарь П.М., Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

В работе рассматриваются схемы возбуждения и управления колебаниями кориолисова вибрационного гироскопа (КВГ), относящегося к классу осцилляторных гироскопов с распределенными параметрами, с идентичным характером возбуждаемой и измеряемой модами колебаний. Возбуждаемая и измеряемая моды колебаний представляют собой две выродившиеся ортогональные моды осесимметричного упругого тела.

Объектом исследования были схемы КВГ в режиме ДУС как наиболее удачного решения, с точки зрения соотношения цена – точность, для данного типа датчика. КВГ представляет собой металлическую осесимметричную цилиндрическую оболочку, состоящую из свободного массивного накопителя колебаний в виде кольца и упругого подвеса в виде стакана со сложной структурой дна на котором располагаются системы возбуждения и съема информации, а также системой управления колебаниями.

Проанализированы математические модели тонких упругих осесимметричных оболочек. В качестве обобщенной модели вибрационных гироскопов как класса в целом выбрана наиболее простая, с точки зрения синтеза систем возбуждения и управления колебаниями, математическая абстракция, базирующаяся на описании инерциальных свойств маятника Фуко. Принято во внимание, что, в отличие от маятника Фуко, при вращении упругой оболочки вокруг оси симметрии возбужденная мода колебаний будет совершать вращение относительно инерциального пространства, то есть во вращающейся системе координат будет замечен поворот оси вибрации с угловой скоростью несколько меньшей, нежели переносная угловая скорость. Известно, что отношение угловых скоростей вибрационной моды относительно упругой оболочки к угловой скорости упругой оболочки относительно инерциального пространства является величиной постоянной, зависящей от моды колебаний и практически не зависящей от свойств материала. Этот постоянный коэффициент называется масштабным коэффициентом и может быть вычислен для соответствующей моды осе симметричной оболочки.

Для учета конечной жесткости, диссипативных свойств материала и конструкционного демпфирования КВГ маятник Фуко трансформируется в точечную массу, подвешенную на осесимметричных линейных пружинках и

вибрирующую относительно положения равновесия в плоскости по двум ортогональным направлениям. В конечном итоге исследуемая математическая модель описывает динамику двумерного осциллятора с перекрестными гирокопическими связями.

Проведено исследование математических моделей КВГ с различными видами регуляторов.

Ключевые слова: кориолисов, вибрационный, осцилляторный, гироскоп, ДУС, маятник Фуко, управление колебаниями.

УДК 624.131.1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІБРАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Аврутова І.В., Бурау Н.І., Жуковський Ю.Г. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Вібраційний моніторинг ґрунтується на вимірюванні та аналізі інформації про коливальні процеси, які протікають в контрольованому об'єкті при його штучному (тестовому) збуренні, чи під впливом вібраційних збурень природного та техногенного походження. Для складних інженерних споруд, точні значення власних частот елементів конструкцій яких заздалегідь невідомі, а природні та техногенні збурення за звичай є випадковими процесами, в діагностичних цілях може використовуватись інформація про їх вимушені нерезонансні коливання, яку отримують в процесі «пасивних» вібраційних вимірювань. Ефективність визначення технічного стану (ТС) відповідальних елементів конструкцій чи інженерної споруди в цілому визначається низкою факторів, основними з яких є: первинний опис контрольованого об'єкту, який встановлює залежність між простором станів об'єкту та простором діагностичних ознак; багатообразність та складність вимірюваних вібраційних сигналів, які є діагностичною інформацією про ТС об'єкту; вибір ефективних методів аналізу діагностичної інформації та визначення інформативних діагностичних ознак, чутливих до малих змін ТС об'єкту та стійких до впливу завад; правила прийняття рішення про фактичний стан контрольованого об'єкту за визначеними діагностичними ознаками.

Перераховані вище основні фактори визначають напрямки теоретичних та прикладних досліджень при розробці методів та засобів технічної діагностики та неруйнівного контролю. В роботі проводиться теоретичне обґрунтування вібраційного моніторингу ТС складних інженерних споруд (анкерних протизсувних споруд, елементів конструкцій будівель і споруд), що знаходяться під впливом еколого-небезпечних процесів. Для цього розроблено та обґрунтовано діагностичні моделі досліджуваних об'єктів, математичні моделі збурень (сейсмічне збурення, удані імпульси, вузько смугові та

широкосмугові збурення), аналізуються моделі та інформаційні властивості вібраційних процесів, які використовуються як діагностична інформація. Проведено моделювання та визначено вплив зміни стану досліджуваних об'єктів на енергетичні та імовірнісні характеристики вібраційних процесів.

Отримані результати є основою для розробки методик та проведення моніторингу ТС складних інженерних споруд з використанням розробленої системи вібраційного моніторингу.

Ключові слова: вібраційний моніторинг, модель збурень, математичні моделі складних інженерних споруд, діагностична інформація.

УДК 621.45.017

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

*Бурау Н.І., Сопілка Ю.В., Павловський О.М., Національний технічний університет
України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Одним з основних напрямків забезпечення надійності газотурбінних двигунів (ГТД) на всіх етапах його життєвого циклу, в тому числі і безпосередньо в польоті, є розвиток автоматизованих систем діагностування (АСД), які являють собою інтегровані інформаційно-діагностичні комплекси (ІДК) для моніторингу стану систем, вузлів та елементів ГТД на основі комплексного застосування методів діагностування. Концепція структурно-параметричного синтезу АСД визначає основні три рівні задач синтезу: розробка вимірювальних систем (ВС), синтез алгоритмічного та програмного забезпечення (АПЗ) діагностування, розподілення алгоритмів діагностування між бортовими та наземними складовими АСД. Така концепція відповідає визначенню діагностування, як єдиного інформаційного процесу отримання, перетворення та аналізу діагностичної інформації для прийняття рішення про стан ГТД, та забезпечує методичний зв'язок між прикладними задачами проектування АСД і сучасними досягненнями в галузях обробки інформації та інформаційних технологій.

Загалом АСД повинна забезпечити комплексний аналіз даних від різних засобів моніторингу та діагностики завдяки впровадженню мережевого інформаційного обміну. В ІДК передбачається передача в реальному часі повної інформації про стан двигуна на наземні системи, діагностичні рішення можуть прийматися на центральному сервері, куди через інтерфейси мережевого обміну надходить інформація від первинних засобів контролю та реєстраторів і накопичувачів польотних даних. Якщо для реєстрації та накопичення даних використовується FLASH – пам'ять великої ємності, то розшифровку та аналіз польотних даних з метою визначення фактичного технічного стану двигуна додатково можна проводити в діагностичних центрах

базового аеропорту чи авіаційного підприємства. В будь-якому випадку для реалізації ІДК необхідно розробити багатоканальну інтелектуальну систему для розшифровки, візуалізації та аналізу діагностичної інформації відповідно до визначених методів та наявного АПЗ, прийняття діагностичних рішень, порівняльного аналізу стану ГТД за діагностичною інформацією, накопиченою впродовж значного періоду експлуатації

Застосування інформаційних технологій в системах діагностування ГТД дозволить якісно підвищити достовірність ранньої діагностики та прогнозування стану двигуна за рахунок застосування потужних алгоритмів аналізу та інтегрованих діагностичних баз даних.

Ключові слова: газотурбінні двигуни, інформаційно-діагностичні комплекси, інформаційні технології, інтелектуальні системи.

УДК 629.1.05

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕ УКАЗАТЕЛЯ КУРСА

*Мелешко В.В., Худолій Д.П., Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

В последнее время запущены в производство гиромагнитные компасы (ГМК), содержащие гироскоп направления (ГН) в виде двухосного гиросtabilизатора на базе динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ). Начальная выставка ГН и его коррекция в полете производятся по магнитному курсу с учетом магнитного склонения. В состав ГМК "Стриж", например, входят, кроме ГН, индукционный датчик магнитного курса, датчик магнитного склонения, пульт широтной коррекции и необходимые электронные блоки. ГМК может работать в режиме гиropolукомпаса, когда магнитный канал отключен, а коррекция вводится с пульта широтной коррекции.

Рассматривается возможность модернизации режима гиropolукомпаса за счет автономной начальной выставки в азимуте (гирокомпасирования), а также за счет предстартовой калибровки систематического ухода ДНГ и последующего его учета.

Аналитическое гиροкомпасирование (АГК) состоит в определении азимутального угла платформы с ДНГ по сигналу канала горизонтальной позиционной коррекции. Проводится оно на неподвижном основании (объект относительно Земли не движется).

Для извлечения полезной информации из сигнала горизонтальной коррекции в нем необходимо устранить влияние неперпендикулярности оси наружной рамки, которая имеет место на стоянке объекта. Для этого формируется корректирующий сигнал по данным о широте места и углах неперпендикулярности оси наружной рамки. Эти углы измеряют с помощью

дополнительно установленного для этого двухосного микроакселерометра.

Для устранения влияния систематических составляющих погрешностей акселерометров, уходов гироскопа измерения проводятся в нескольких азимутальных положениях платформы.

Моделирование гирокомпасирования проведено для разных шагов азимутального положения с учетом реальных погрешностей элементов прибора. Обработка измерений проведена методом наименьших квадратов при измерениях в семи азимутальных положениях и методом Крамера при трех измерениях. Обработка методом Крамера является наиболее простой и дает удовлетворительные результаты. Наиболее прост алгоритм вычислений, если платформа поворачивается в три положения через 90° . Влияние случайной составляющей ухода гироскопа уменьшается за счет осреднения сигнала. При этом достаточно измерять сигнал в течение 10 сек. с шагом 0,01 сек. В итоге определение азимутального угла платформы возможно с точностью до $0,1^\circ$.

Систематическая составляющая ухода гироскопа величиной $25^\circ/\text{час}$ может быть определена с ошибкой не более $0,05^\circ/\text{час}$.

Ключевые слова: аналитическое гирокомпасирование, гирополукомпас.

УДК 528.526.6

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНОГО МАЯТНИКОВОГО ГИРОКОМПАСА С МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

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

Существующие в настоящее время системы начального ориентирования, построенные на основе наземных маятниковых гирокомпасов, обеспечивают заданную точность при заданном времени измерения азимута в условиях неподвижного основания. В то же время, как показывает практика, при определении азимута основание, на котором установлен гирокомпас, находится под воздействием линейных и угловых колебаний. Как показывают экспериментальные исследования для характерных мест установки гирокомпасов, амплитуда линейных колебаний составляет от $0,01g$ до $10^{-6}g$, амплитуда угловых колебаний от 3 до 30 угловых секунд в зависимости от диапазона частот. В таком случае гирокомпас будет находиться под воздействием как линейных, так и угловых колебаний, что может приводить к существенным погрешностям при его работе.

В существующих системах виброзащиты для компенсации влияния линейных и угловых вибраций основания гирокомпас устанавливается на платформу, имеющую значительные габариты, массу и стоимость, что ограничивает применение таких систем. Поэтому представляет интерес

исследование возможности построения встроенной системы виброзащиты, которая реализуется на элементах, находящихся внутри самого гирокомпаса, и включает: датчик угла поворота чувствительного элемента относительно корпуса прибора, элементы системы управления и датчик момента. Таким образом, существенно упрощается конструкция системы при незначительном изменении массогабаритных характеристик.

В качестве объекта исследования принят трехстепенной маятниковый гирокомпас компенсационного типа с магнитным подвесом чувствительного элемента. Для анализа возможности построения встроенной системы виброзащиты, математическая модель гирокомпаса была реализована в среде Simulink системы MatLab. Проведено моделирование работы наземного маятникового гирокомпаса при действии угловых и линейных колебаний основания. По результатам моделирования сформированы требования к параметрам системы виброзащиты гирокомпаса.

Ключевые слова: наземный маятниковый гирокомпас, угловые колебания, линейные колебания, системы виброзащиты.

УДК 62-752.4: 528.521

ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ГІРОКОМПАСА НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ АЗИМУТУ

*Юр'єв Ю.Ю., Лихоткін О.М., Казенне підприємство
«Центральне конструкторське бюро «Арсенал», м. Київ, Україна*

На шляху підвищення точності визначення азимуту за допомогою гирокомпасів та гіротеодолітів одним з проблемних напрямків є зменшення випадкової складової похибки, що спричинена нестабільністю параметрів гирокомпаса. В сучасних гирокомпасах та гіротеодолітах одним з головних джерел випадкової похибки є нестабільність положення візирної вісі фотоелектричного автоколіматора (АК) та нестабільність положення нормалі до відлікового дзеркала чутливого елементу (ЧЕ) відносно вектора кінетичного моменту гіроскопа в горизонтальній площині. Фахівцями КП «ЦКБ «Арсенал» було розроблено малогабаритний автоматичний гирокомпас, в якому реалізовано засоби зменшення впливу нестабільності положення візирної вісі АК та нестабільності положення нормалі до відлікового дзеркала ЧЕ на точність визначення азимуту.

Кутове положення візирної вісі АК не є стабільним у часі і змінюється від одного циклу вимірювання до іншого випадковим чином під дією різноманітних шкідливих факторів (наприклад, зміна температури навколишнього середовища, зміна із часом характеристик випромінювача та фотоприймачів і т.і.). Для зменшення впливу нестабільності положення візирної вісі АК в азимутальній площині в конструкцію гирокомпаса введено

контрольний елемент (КЕ). Таким чином, визначення азимуту нормалі до дзеркала КЕ в кожному циклі вимірювання мінімізує вплив нестабільності кутового положення візирної вісі АК на точність визначення азимуту незалежно від стабільності нормалі до дзеркала КЕ.

Нестабільність у часі кутового положення нормалі до відлікового дзеркала ЧЕ відносно вектора кінетичного моменту гіроскопа усувається нанесенням дзеркала безпосередньо на торець ротора гіромотора.

Реалізовані в представленому гірокомпасі засоби виключають необхідність визначення поправки приладу в різних температурних умовах і дозволяють обмежитись еталонуванням приладу при його виготовленні або проведенні регламентних робіт. Визначена при еталонуванні поправка приладу, в свою чергу, є постійною і враховується при кожному циклі визначення азимуту.

Ключові слова: гірокомпас, гіротеодоліт, автоколіматор, точність визначення азимуту.

УДК 62-752.4: 528.521

ВРАХУВАННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ МАСШТАБНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ АЗИМУТУ ВИСОКОТОЧНИМ ГІРОТЕОДОЛІТОМ

Ліхоткін О.М., Юр'єв Ю.Ю.,

Казенне підприємство «Центральне конструкторське бюро «Арсенал», м. Київ, Україна

Для підвищення конкурентної привабливості нового гіротеодоліта відносно вже існуючих гіроприладів та інших систем визначення азимута орієнтирного напрямку необхідно його вдосконалення з метою підвищення точності визначення азимуту і зручності його використання.

Досягнення цієї мети можливе за рахунок введення в конструкцію гіротеодоліта призми з вертикальними дзеркальними відбиваючими гранями. З призмою оптично пов'язані закріплені на гіроблоці автоколіматор і зовнішній автоколімаційний прилад. Така система реалізує розподіл функцій визначення напрямку астрономічного меридіану гіроблоком та передачі його на місцеві орієнтири автоколімаційним приладом, наприклад теодолітом, що виключає збурення під час вимірювань та значно спрощує конструкцію гіроблоку.

Розроблена для високоточного гіротеодоліта еталонна призма має вісім граней, з кутами між гранями 45° , для яких виконано еталонування (вимірювання кутів між гранями) за допомогою лазерного гоніометра з середньою квадратичною похибкою $0,2''$. Автоколіматор гіроблоку пов'язаний з відбиваючими дзеркальними гранями еталонної призми оптично, за допомогою оптичного перемикача – рухомої трипель-призми. Це дозволяє виконувати вимірювання азимуту на різних за кутовою азимутальною орієнтацією дзеркальних відбивачах призми з застосуванням компенсаційного методу і позбутися адитивної складової похибки гірокомпасу, яка спричинена

дією постійного хибного моменту, а також виключити мультиплікативну похибку, що спричинена неточністю знання масштабного коефіцієнту, однією з складових якого є широта місця розташування гіротеодоліта.

Введений новий елемент - призма, та використання відповідних алгоритмів роботи і обробки інформації дозволяють: визначати астрономічний азимут без впливу похибки масштабного коефіцієнта і хибного неінформативного моменту, якщо ці величини сталі, а також урахувати їх, якщо закон зміни їх відомий; відмовитись від складних систем для стабілізації як масштабного коефіцієнту, так і хибного моменту в експлуатації та отримати гіротеодоліт, орієнтовна середня квадратична похибка визначення азимута якого складає $(1...1,5)''$.

Ключові слова: гіротеодоліт, точність визначення азимуту.

УДК 528.526.6

НАЧАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА БИНС С ПОМОЩЬЮ ГИРОКОМПАСА С ФУНКЦИЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛИ

*Боярчук А.А., Дмитриев А.Ю., Машинистов Э.С., Казенное предприятие
"Центральное конструкторское бюро "Арсенал", г. Киев, Украина.*

Процесс начальной выставки БИНС включает в себя определение предстартовой ориентации приборного базиса относительно географической или стартовой систем координат. Начальная выставка может осуществляться автономно или с помощью внешних измерительных устройств.

Автономная выставка применяется в случае, когда точность инерциальных датчиков достаточно высока, в противном случае гироскопирование или же вся выставка производится с использованием внешней информации. Как правило, такая выставка производится с помощью приборов ориентирования и оптических отражающих поверхностей закрепленных на блоке чувствительных элементов (БЧЭ). В этом случае реализуется также режим предстартовой калибровки БИНС. При использовании внешней информации об ориентации приборных осей могут быть прокалиброваны, по крайней мере, смещения нулей чувствительных элементов.

В настоящем докладе предлагается метод определения ориентации приборных осей с помощью гироскопа, состоящего из двухстепенного гироскопа и наклономера, и наиболее оптимальная конструктивная схема такого гироскопа, обеспечивающая возможность использования гироскопа в условиях наземных подвижных объектов во время остановок.

Ключевые слова: начальная выставка БИНС, гироскопирование, гироскопас.

УДК: 681.3+ 615.89

АНАЛІЗ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ МІКРОСУПУТНИКА ЗА ПОБУДОВИ ФІЛЬТРА КАЛМАНА З МУЛЬТИПЛІКАТИВНИМ ТА АДИТИВНИМ ОНОВЛЕННЯМ ОЦІНКИ КВАТЕРНІОНУ

*Мелашенко О.М., Рижков Л.М., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Дешевизна, достатня точність, мала вага та низька споживана потужність сприяють широкому застосуванню магнітних котушок для керування мікросупутниками (МС). Взаємодія між магнітним полем Землі і штучним магнітним полем, згенерованим котушками МС, створює механічний момент яким і здійснюється керування орієнтацією МС. Магнітне керування орієнтацією носить періодичний характер, зумовлений циклічною варіацією геомагнітного поля на орбіті.

Для зменшення собівартості та масово-габаритних показників МС відмовляються від використання в їхніх системах орієнтації та стабілізації (СОС) прецизійних датчиків кутової швидкості, що в свою чергу значно ускладнює задачу отримання високих характеристик за точністю таких систем. Ця обставина спонукає до максимально ефективного використання інформації від встановлених на об'єкту МС позиційних датчиків (магнітометри, датчики Землі та Сонця) для отримання інформації про повний фазовий вектор МС. Найчастіше ця задача розв'язується на основі алгоритму фільтра Калмана та подібних до нього алгоритмів.

При побудові алгоритмів оцінювання кутової орієнтації МС досить важливим з огляду на ефективність числової реалізації є вибір параметрів орієнтації. Серед відомих параметрів орієнтації найпоширенішими є кватерніони, оскільки на відміну від кутів Ейлера вони не мають точок сингулярності і на відміну від матриці напрямних косинусів характеризуються лише чотирма координатами.

Як відомо, на кожному кроці роботи класичного алгоритму фільтра Калмана здійснюється передбачення та корекція оцінюваної величини, причому корекція здійснюється шляхом додавання до передбаченого значення оцінки члена корекції. У випадку оцінювання кватерніону орієнтації така корекція оцінки з фізичного погляду є некоректною, оскільки член корекції являю собою похибку орієнтації і кватерніон повинен бути оновлений згідно правил алгебри кватерніонів, тобто передбачене значення кватерніону має бути перемноженим з вектором похибки орієнтації згідно правил множення кватерніонів.

В даній доповіді порівнюються дві СОС МС побудованих на основі алгоритму фільтра Калмана з адитивним та мультиплікативним оновленням оцінки кватерніону. Реалізація мультиплікативного оновлення оцінки кватерніону у фільтрі Калмана дозволило зменшити розмірність фазового вектора із семи до шести. Зменшення розмірності фазового вектора вдалося

досягнути за рахунок використання в ньому векторної частини кватерніону орієнтації. Для порівняння двох СОС МС здійснено замикання зворотного зв'язку за повним фазовим вектором згідно алгоритму енергетичного регулятора. Виконане моделювання дозволило зробити висновок про те, що зниження розмірності фазового вектора фільтра Калмана разом із зменшенням числового навантаження на обчислювач дозволяє зберегти високу точність стабілізації МС.

Ключові слова: мікросупутник, кватерніонний фільтр Калмана, мультиплікативне оновлення оцінки.

УДК 62-50

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОРІОЛІСОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА

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

Коріолісовий вібраційний гіроскоп (КВГ) завдяки своїй значній вібро- та ударостійкості та високій точності є на сьогоднішній день одним із найперспективніших датчиків кутової швидкості для широкого спектру застосувань – від безплатформних систем інерціальної систем до систем наведення керованих снарядів.

Важливою складовою успішного функціонування КВГ є ефективна робота контуру керування ним. Контур керування КВГ будується за схемою силового врівноваження хвилі, що дозволяє досягнути високої смуги пропускання датчика. Для забезпечення високої чутливості КВГ його збудження здійснюють на власній частоті резонатора. Збудження резонатора на власній частоті реалізується контуром фазового автопідстроювання частоти. Також необхідними контурами системи керування КВГ є контур стабілізації амплітуди пучності та контур керування квадратурою. Внаслідок амплітудної модуляції сигналів в КВГ побудова описаних контурів ґрунтується на демодуляції сигналів, яка здебільшого здійснюється стандартними методами демодуляції з використанням фазового детектора на основі чотириквadrантного перемножувача і НЧ-фільтра.

Застосування стандартних методів демодуляції сигналів в системі керування КВГ призводить до значних технічних ускладнень. А саме, при роботі контуру керування на частотах 50 кГц і вище застосування рекурсивного НЧ-фільтра стає неможливим, через проблеми стійкості при його реалізації. Для уникнення цих проблем застосовують нерекурсивні фільтри, але для досягнення бажаних динамічних характеристик контуру доводиться значно збільшувати їхній порядок, що вносить додаткові фазові зсуви. Крім того, коректна робота чотириквadrантного фазового детектора ґрунтується на припущенні про малий

фазовий зсув між двома сигналами, що не завжди може виконуватися в реальній системі.

В даній доповіді пропонується для амплітудної демодуляції сигналів в системі керування КВГ використовувати рекурсивні алгоритми оцінювання: метод найменших квадратів (RLS), метод мінімальної середньоквадратичної похибки (LMS) та алгоритм фільтра Калмана.

Сутність запропонованих методів демодуляції полягає у подані модульованого сигналу у вигляді суперпозиції його синфазної та квадратурної компонент з невідомими амплітудами, які оцінюються одним із рекурсивних алгоритмів.

Моделювання запропонованих алгоритмів показало, що рекурсивні методи демодуляції порівняно з мультиплікативною демодуляцією дозволяють приблизно на 25% зменшити середньоквадратичне значення шуму і приблизно на 20% зменшити часові затрати на обчислювання.

Ключові слова: коріолісовий вібраційний гіроскоп, система керування КВГ, чотириквadrантна демодуляція, RLS, LMS, фільтра Калмана.

УДК 531.383

ЗАПІЗНЮВАННЯ СИГНАЛІВ ТА ЕФЕКТ ДОПЛЕРА

Лазарев Ю. Ф., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Виведена точна формула ефекту Доплера. Загальний вираз для визначення проміжку часу ΔT_c між моментами сприймання випромінених імпульсів через проміжок часу ΔT між моментами їхнього випромінення можна подати так:

$$\Delta T_c - \Delta T + \rho = |\rho + \beta_d \Delta T - \beta_c \Delta T_c| \quad (1)$$

Тут ρ - вектор шляху в світлових секундах, який пройдений першим імпульсом у нерухомому світлоносному середовищі - ефірі; β_c і β_d - безрозмірні швидкості приймача (спостерігача) і джерела випромінювання відносно ефіру.

Розкриваючи (1), дійдемо квадратного рівняння відносно шуканої величини ΔT_c

$$\gamma_c^2 \Delta T_c^2 + 2[\rho(1 + \beta_c \mathbf{e}_R) - \Delta T(1 - \beta_c \beta_d)] \Delta T_c + \gamma_d^2 \Delta T^2 - 2\Delta T \rho(1 + \beta_d \mathbf{e}_R) = 0, \quad (2)$$

де $\mathbf{e}_R = \frac{\rho}{\rho}$ - одиничний вектор радіус-вектору ρ , $\gamma_d = \sqrt{1 - \beta_d^2}$; $\gamma_c = \sqrt{1 - \beta_c^2}$.

Зазвичай в літературі розглядається лише випадок, коли проміжок між окремими імпульсами необмежено зменшується ($\Delta T_c \rightarrow dT_c$, $\Delta T \rightarrow dT$). Тоді співвідношення (2) можна наближено подати як диференціальне

співвідношення між дійсним t і спостережуваним t_c "часами" джерела випромінювання:

$$\frac{dt_c}{dt} = \frac{1 + \beta_d \mathbf{e}_R}{1 + \beta_c \mathbf{e}_R}, \quad (3)$$

або як співвідношення між довжинами випроміненої і сприйнятої хвиль:

$$\frac{\lambda_c}{\lambda} = \frac{1 + \beta_d \mathbf{e}_R}{1 + \beta_c \mathbf{e}_R}. \quad (4)$$

Той самий результат можна одержати зовсім іншим шляхом, використовуючи явище запізнювання у прийманні сигналу, який долає певну відстань r .

Якщо джерело світла випроменило імпульс у момент часу t , то він буде сприйнятий у момент часу t_c

$$t_c = t + \frac{|\mathbf{r}_d(t) - \mathbf{r}_c(t_c)|}{c}, \quad (5)$$

де $\mathbf{r}_c(t_c)$ - радіус-вектор спостерігача (приймача) відносно нерухомої відносно середовища точки O у момент часу t_c , $\mathbf{r}_d(t)$ - радіус-вектор джерела у момент часу t . Якщо швидкість приймача є незмінною, то, узявши похідну від обох частин (5) за часом t , одержимо $\frac{dt_c}{dt} = 1 + \left[\beta_d - \beta_c \frac{dt_c}{dt} \right] \cdot \mathbf{e}_R$, звідки випливає (3).

Як показано в [2], існування ефекту Доплера несумісне з постулатом теорії відносності про однаковість швидкості світла в усіх інерціальних системах координат. На основі класичної механіки (точніше, - кінематики) доведена узагальнена формула ефекту Доплера. Показана сфера застосовності відомої [3] формули.

У деяких літературних джерелах [1] точна формула ефекту Доплера безпосередньо пов'язується з векторним складанням швидкостей, в результаті чого виходить формула, яка не збігається з широко відомою з акустики. У доповіді показано, що формула ефекту Доплера не пов'язана зі складанням швидкостей і збігається з відомою при малих відношеннях відносного переміщення джерела і приймача до відстані між ними.

Ефект Доплера тісно пов'язаний із запізнюванням сигналів, що випромінюються віддаленим рухомим джерелом. При цьому, як показано, картини, що спостерігаються спостерігачами на двох рухомих об'єктах, які рухаються як відносно світлоносного середовища так і відносно один одного і обмінюються між собою сигналами світла, не є симетричними, що, у принципі, дозволяє шляхом дослідів визначити швидкості рухомих об'єктів відносно ефіру.

Ключові слова: ефект Доплера, запізнювання сигналів

Література:

1. Акимов О.Е. Естествознание. Курс лекций, М., ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – Режим доступа. - <http://sceptic-ratio.narod.ru/files4.htm>.

2. Довженко А. И. Относительное движение Земли и светоносного эфира. – Источник: SciTecLibrary.ru. –

Режим доступа. - <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8703.html>

3. Доплера эффект. ФИЗИКА. Большой энциклопедический словарь/Гл. ред. А. М. Прохоров. – 4-е изд. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – с. 183-184.

УДК 528.06:51-7, УДК 519.23/.25

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ GPS ПРИЕМНИКА ГРАЖДАНСКОГО ТИПА (КЛАССА)

*Шевченко А.К., Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
"Искра", Луганск, Украина*

В НИПКИ «ИСКРА» была разработана система картографирования радиационного загрязнения местности (СКРЗМ) в основу которой входит гониометр, позволяющий производить оценку характеристик гамма-полей, созданных источниками, расположенными на поверхности исследуемой местности и ее объектах. По результатам нескольких измерений (трех и более точек), можно получить пересечение направлений на источник. При наличии нескольких факторов, влияющих на точность измерения: погрешность позиционирования точек измерения, погрешность определения направления на источник и пр., возникает проблема сведения нескольких пересечений, для чего необходимо воспользоваться уравнительными вычислениями. Предварительный анализ результатов выполненного уравнивания показал, что точность определения координат источника в основном зависит от погрешности определения координат точек измерения, снижение систематической составляющей которой позволило бы, при известной случайной составляющей измерения координат, свести систематическую составляющую погрешности результатов измерений в целом лишь к угловому разрешению гониометра. При анализе выборки координат, полученной в течение 24 часов 45 минут при частоте 1 Гц прибором GPS HOLUX M-1000 гражданского назначения (в помещении) была получена погрешность $3\sigma = 8,5..18,5$ м. Итеративная фильтрация выбросов проводилась по 3σ , причем до получения стабильной выборки пришлось на всех итерациях отбросить 10315 точек из 89040. Была сделана попытка, разбивая весь объем выборки на интервалы произвольной длины, найти такой максимальный интервал, при котором не отвергалась бы гипотеза о нормальности распределения координат внутри интервала. Гипотеза проверялась по критерию χ^2 , объем выборки составил 78725 измерений по каждой координате, длина интервала изменялась в диапазоне 60(120)..480 с, количество интервалов группировки координат - 1..35, при уровне значимости 0,05. При этом наибольшее число участков с не отброшенной гипотезой было получено при длине интервала 120 с, и группировке координат на 8-9 интервалов. В результате проведенной

итеративной фильтрации абсолютная погрешность снижена до 7,5..15 м, что, однако, оказалось недостаточным для достижения заданных требований к СКРЗМ. Дальнейшее уменьшение погрешности возможно лишь при условии применения приборов GPS другого класса точности.

Ключевые слова: GPS, геодезические координаты, фильтрация выбросов.

УДК 551.508

ВЛИЯНИЕ ПРОПУСКАНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ВИДИМОСТЬ ОБЪЕКТОВ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ 8–12 МКМ

*Кугейко М.М., Лысенко С.А., Фираго В.А., Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь*

Контраст объекта ($K = |L_o - L_\phi| / L_\phi$, где L_o и L_ϕ – яркости объекта и фона) в средней инфракрасной области спектра определяется не только коэффициентом излучения объекта ϵ_o и разностью температур объекта T_o и фона T_ϕ , но и прозрачностью атмосферы. В тепловидении обычно используют окно прозрачности атмосферы 8–14 мкм и при небольших расстояниях не учитывают поглощение теплового излучения атмосферой. При возрастании дистанции ослабление теплового излучения объекта атмосферой приводит к снижению контраста, поскольку атмосфера в средней инфракрасной области спектра, в отличие от видимого диапазона, сама является источником фонового излучения. Поэтому для корректной оценки контраста объекта или определения его температуры необходимо учитывать прозрачность атмосферы, которая зависит от метеорологических условий.

В докладе описывается методика расчета пропускания приземного слоя атмосферы в средней инфракрасной области спектра, учитывающая метеорологические условия, геометрию распространения излучения, резонансное поглощение молекулами газов, из которых состоит атмосфера, поглощение континуумом водяного пара и сухого воздуха, а также ослабление излучения за счет рассеяния и поглощения аэрозолями. При расчетах используются архивы исходных сведений, содержащие параметры линий поглощения атмосферных газов из базы данных HITRAN2004 (адаптированные для используемых вычислительных процедур), нормированные коэффициенты ослабления основных аэрозольных фракций и физические модели атмосферы (для различных географических районов). Расчет коэффициентов аэрозольного ослабления осуществляется по микрофизическим параметрам, как для конкретных типов воздушных масс, так и для “среднеконтинентальных” условий. Влияние влажности воздуха на спектр размеров аэрозольных частиц и значения оптических констант учтено на основе модификации теории Ми для двухслойных полидисперсных частиц. Расчет высотной стратификации аэрозоля осуществляется на основе типичной статистической модели

высотного распределения счетной концентрации частиц аэрозоля с учетом сезона и времени суток (день-ночь). Адекватность результатов, получаемых на основе разработанной методики расчета прозрачности, свойствам реальной атмосферы подтверждается совпадением результатов расчетов с имеющимися экспериментальными данными.

Приведены примеры расчета зависимости контраста объектов от влажности атмосферы и наклона трассы наблюдения в спектральной области 8–12 мкм.

Ключевые слова: пропускание атмосферы, спектральный диапазон 8–12 мкм.

УДК 629.7.052.7

ПРО ГОЛОВНЕ РІВНЯННЯ НАВІГАЦІЇ В АЛГОРИТМІ БЕЗПЛАТФОРМОВОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ (БІНС)

*Снопко В. О., Лазарев Ю. Ф., НТУУ “Київський політехнічний інститут”, м. Київ,
Україна*

Розглянуті різні форми подання головного рівняння навігації БІНС. Проведений аналіз цього рівняння за відомою літературою з метою можливого уточнення. Складено уточнене рівняння:

$$\mathbf{W} = \frac{\tilde{d}_n \mathbf{v}}{dt} + (\boldsymbol{\omega}^e + \boldsymbol{\omega}^n) \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega}^e \times \mathbf{r}),$$

де $\boldsymbol{\omega}^e$ – абсолютна кутова швидкість власного обертання Землі,

$\boldsymbol{\omega}^n$ - кутова швидкість навігаційної системи координат,

\mathbf{r} - радіус вектор основи відносно центру Землі,

\mathbf{v} - вектор швидкості основи відносно поверхні Землі.

Воно відрізняється від наведеного у відомій літературі [1], [2, с.29] і [3, с.19] наявністю додаткового члена

$$\boldsymbol{\omega}^n \times (\boldsymbol{\omega}^e \times \mathbf{r}).$$

Зроблене уточнення дозволяє створити більш точну модель алгоритму БІНС. Воно може бути використане як у реальних БІНС, так і для побудови чисельних моделей для моделювання процесу впливу різних факторів на похибки БІНС.

Ключові слова: безплатформова інерціальна навігаційна система, рівняння навігації, моделювання.

Література:

1. Бромберг П. В. Теория инерциальных систем навигации. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
2. Дмитроченко Л. А., Савинов Г. Ф. Основы проектирования алгоритмов инерциальных навигационных систем: Учебное пособие. – М.: МАИ, 1987. – 67 с.
3. Иванченко А. И.. Бесплатформенные инерциальные системы навигации. - Киев: КВВАИУ, 1988. - 221 с.

УДК 531.787+681.586

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

*Джангиров М.В., Еременко А.П., Снигур А.К., Национальный университет кораблестроения
им. адм. С.О. Макарова, г. Николаев, Украина*

Успешное развитие микро- и нанотехнологий привело к появлению нового типа приборов – так называемых микроэлектромеханических систем (МЭМС). На основе МЭМС технологий разработан целый ряд датчиков, в том числе и для измерения давлений. Главными преимуществами таких датчиков являются: малые размеры, малое потребление электроэнергии, удобство сопряжения с цифровой вычислительной техникой, низкая цена, большой диапазон измерений. Благодаря этим преимуществам такие датчики нашли широкое применение во многих отраслях науки и техники. Микромеханические датчики давления на МЭМС технологиях используются в авиастроении, космических технологиях, судостроении, машиностроении, медицине и т. д.

К основным техническим характеристикам микродатчиков давления относятся: рабочий диапазон измерения; чувствительность к измеряемому давлению; вид выходного сигнала, а также инструментальные и методические погрешности.

При определении полной погрешности датчика давления учитывается весь комплекс погрешностей, порождаемых недостатками конструкции и технологии производства, а также влиянием внешних условий. Основными источниками инструментальных погрешностей датчиков давления являются: смещение нуля $\Delta U_{сн}$; погрешность полной шкалы $\Delta U_{ши}$; температурный дрейф нуля $\partial U / \partial T$; температурный дрейф чувствительности $\partial S / \partial T$; погрешность линейности ΔS ; гистерезис характеристики преобразования; погрешность логотричности; позиционная чувствительность (деформация мембраны датчика из-за земного тяготения).

В работе исследованы влияния инструментальных погрешностей, возникающих вследствие изменения температуры, ускорения свободного падения, а также время отклика датчика. Разработаны зависимости, которые связывают составляющие погрешностей с общей погрешностью и проанализирован вклад каждой составляющей погрешности в отдельности.

В результате проведенных исследований сделан вывод о необходимости учета этих погрешностей при проектировании микромеханических датчиков давления и в особенности барометрических высотомеров. Основной вклад для барометрических высотомеров в общую погрешность будут вносить погрешности линейности, температурные дрейфы чувствительности и смещения нуля.

Ключевые слова: микромеханический датчик давления, инструментальные погрешности, барометрический высотомер.

УДК 681.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ БИНС НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

Еременко А.П., Джангиров М.В., Снугур А.К.
Национальный университет кораблестроения, г. Николаев, Украина

В настоящее время для инерциальных навигационных систем отсутствуют оценки погрешностей с точки зрения их минимизации в зависимости от параметров и архитектуры нейронной сети.

В данной работе исследуются возможности применения линейных нейросетей для моделирования минимально возможных погрешностей блока акселерометров бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

В качестве эталонного решения использована модель погрешностей блока акселерометров Δn вида

$$\Delta n = \begin{pmatrix} A_{x0} \\ A_{y0} \\ A_{z0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xz} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{yz} \\ A_{zx} & A_{zy} & A_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{pmatrix}$$

где A_{i0} – составляющие систематического дрейфа; A_{ii} – ошибки масштабных коэффициентов; A_{ij} – ошибки перекрестных связей осей чувствительности; n_i – проекции ускорений на оси чувствительности акселерометров.

Для моделирования погрешностей блока акселерометров использованы линейные нейронные сети прямого распространения, а также рекуррентные нейроалгоритмы. В процессе исследования рассматривалось влияние количества слоев, количества нейронных элементов в слое, метода обучения нейросети на точность аппроксимации модели погрешностей. Результаты исследований позволили получить соотношения между указанными параметрами нейросетей и погрешностями. Исследована зависимость скорости сходимости алгоритма от параметров нейросети. Определены соотношения параметров алгоритма и метода обучения, позволяющие получить наибольшую точность и скорость сходимости. На основании полученных соотношений разработаны алгоритмы аппроксимации, которые были использованы при моделировании. По результатам моделирования сформулированы рекомендации по выбору параметров линейных нейросетей, в зависимости от требуемой точности аппроксимации.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке алгоритмического и программного обеспечения бесплатформенных инерциальных навигационных систем, с целью повышения их точности и быстродействия вычислительных процедур.

Ключевые слова: линейная нейросеть, блок акселерометров, модель погрешностей, инерциальная навигация.

УДК 629.5.05

ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ФОРМА СИГНАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ ПРИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Снигур А.К., Еременко А.П., Джангиров М.В.
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,
г. Николаев, Украина.

В работе проведено исследование и теоретическое обоснование прямой и обратной форм сигнального вида интеграции при косвенных измерениях с целью обеспечения повышения точности и выявления новых возможностей интегрируемых измерителей.

При косвенных измерениях вектор координат или параметров Y наблюдаемого или контролируемого процесса оценивается по вектору показаний или измерений X совокупности измерителей, реагирующих на вектор величин X функционально связанных с интересующими параметрами

$$X = F(Y). \quad (1)$$

Эта функциональная связь предположительно является детерминированной или априорно установленной до организации измерительного процесса. При косвенных измерениях предполагается, что существует решение уравнения (1) относительно неизвестной переменной Y , т.е. существует обратная зависимость

$$Y = F^{-1}(X). \quad (2)$$

Эта зависимость реализуется вычислителем измерительной системы.

Существует два подхода в разрешении соотношения (1). В первом случае вычислителем системы реализуется зависимость

$$\hat{Y} = \hat{F}^{-1}(X_{II}), \quad (3)$$

а во втором случае реализуются зависимости

$$\begin{aligned} \dot{\hat{Y}} &= K(p)[X_{II} - \hat{X}_{II}] \\ \hat{X}_{II} &= \hat{F}(\hat{Y}), \end{aligned} \quad (4)$$

где: X_{II} - вектор оценки измерений, получаемый с помощью вычислителя,

\hat{Y} - оценка искомого вектора Y с помощью элемента контура обратной связи,

\hat{F} - реализованный в вычислителе вид функции F , характеризующий

согласно (1) соотношения параметров контролируемого процесса, $\dot{\hat{Y}}$ - производная по времени оценки \hat{Y} вектора контролируемых параметров Y , $K(p)$ - оператор, соответствующий передаточной функции (структуре или алгоритму) функционирования регулятора замкнутой системы оценки параметров.

Прямой формой включения вычислителя в составе измерительной системы является схема связей измерительных и вычислительных преобразователей, реализующих соотношение (3), а обратной формой включения вычислителя в состав измерительной системы схему связей, реализующую соотношения (4).

Иногда соотношение (1) оказывается аналитически неразрешимым, а реализация аппроксимационной зависимости $\hat{F}^{-1}(X_{II})$ в вычислителе весьма затруднительна. Эти обстоятельства и обусловили, при реализации метода измерений, выбор обратной формы включения вычислителя.

При грамотно проведенном синтезе регулятора $K(p)$ схемы, реализующей обратную форму включения вычислителя согласно (4), и при использовании в составе вычислительной системы быстродействующих цифровых вычислительных средств, применение обратной формы включения является более предпочтительным. Эта предпочтительность может быть особенно ощутимой при наличии функциональной избыточности измерительных преобразователей, когда размерность вектора X измеряемых параметров, больше размерности вектора Y параметров, подлежащим косвенным измерениям.

Реализация косвенных измерений согласно соотношений (4) по существу предполагает использование для измерений наблюдающих устройств.

Изложенные обстоятельства позволяют в условиях широкого внедрения в практику морских измерительных систем быстродействующих цифровых вычислителей и при функциональной избыточности измерительных преобразователей рекомендовать к использованию обратную форму включения вычислителя при организации косвенных измерений.

Ключевые слова: интеграция, вычислитель, формы включения, косвенные измерения, избыточность преобразователей.