

СЕКЦІЯ 1

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

УДК 62-752.4: 528.521

СУЧАСНІ ГІРОСКОПІЧНІ ЗАСОБИ АЗИМУТАЛЬНОГО ОРІЄНТУВАННЯ

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

У багатьох галузях застосування сучасної військової та цивільної техніки (ракетно-артилерійська, топогеодезична, будівельна, маркшейдерська та ін.) існує необхідність точного визначення азимута орієнтирного напрямку. Існуючі системи визначення азимута орієнтирного напрямку (триангуляційна мережа, різноманітні компаси, супутникові системи та ін.) в тій чи іншій мірі мають такі недоліки: недостатня точність, неавтономність, велика тривалість вимірювання, висока вартість та ін. Більшості цих недоліків позбавлені наземні гіроскопічні прилади орієнтації – гірокомпаси та гіртеодоліти. Сучасні гірокомпаси та гіртеодоліти забезпечують високу точність вимірювання азимута, порівняно малий час вимірювання та автономність.

Серед розробок КП «ЦКБ «Арсенал» представлено широкий спектр новітніх приладів високої та середньої точності визначення азимута. Сьогодні КП «ЦКБ «Арсенал» виготовляє напівавтоматичний гіртеодоліт середньої точності визначення азимута UGT-L та автоматичний гіртеодоліт середньої точності визначення азимута UGT-H із середньою квадратичною похибкою (СКП) $8''$ (в нормальних умовах) та $25''$ (в умовах від мінус 40°C до $+50^\circ\text{C}$). В стадії запуску у виробництво знаходиться високоточний автоматичний гіртеодоліт UGT-A, орієнтовна СКП визначення азимута якого складає до $1''$.

Окреме місце серед новітніх приладів займає малогабаритний автоматичний гірокомпас «Чиж». Цей гірокомпас являє собою гіроскопічну насадку до вже існуючих приладів типу бусолі ПАБ-2А і далекоміра 1Д11 та призначений для визначення астрономічного азимута орієнтирного напрямку з використанням кутовимірних пристроїв зазначених приладів. Використання комплекту гіроскопічної насадки дозволить розширити функціональні можливості приладів типу бусолі та далекоміра в умовах бойових дій при відсутності (блокуванні) космічних (або інших) засобів орієнтування.

Гіронасадка «Чиж» має двостепеневий чутливий елемент та реалізує компенсаційний метод визначення азимута. СКП визначення азимута $4'$ за 3 хвилини в умовах від -40°C до $+50^\circ\text{C}$. Основними перевагами цього приладу є прийнятна точність визначення азимута за короткий час у широкому температурному діапазоні, малі габарити та маса, малий час переводу із походного в робочий стан.

Гіронасадка «Чиж» на сьогодні знаходиться у завершальній стадії виробництва і є перспективною розробкою КП «ЦКБ «Арсенал».

В доповіді наведено порівняльні характеристики гірокомпасів та гіртеодолітів, що розробляє та виготовляє КП «ЦКБ «Арсенал».

Ключові слова: гірокомпас, гіртеодоліт, гіроскопічна насадка, азимут.

УДК 539.3:621

АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙНИХ ТА МОДАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОШКОДЖЕНОГО РОТОРА

¹⁾Бурау Н.І., ²⁾Поповцев О.С., ²⁾Яцко Л.Л., ¹⁾Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна; ВАТ НТК “Електронприлад”, м. Київ, Україна

Пошкодження роторів турбокомпресорних установок авіаційної, енергетичної, нафто-газо-транспортної техніки відносяться до несправностей, що мають швидкий розвиток (1...3 с) і призводять до раптових відмов турбомашини. Щоб уникнути небезпечних руйнувань турбомашин в експлуатації, необхідно забезпечити максимальне скорочення раптових відмов шляхом їх прогнозування та попередження. Це можливо завдяки розробці та впровадженню систем моніторингу для визначення фактичного технічного стану об'єкту в експлуатації. Вибір методів та засобів діагностування для системи моніторингу повинні ґрунтуватись на розумінні фізичної сутності тих процесів в об'єкті, які є носіями діагностичної інформації, та на знаннях законів зародження та розвитку несправностей, що дозволить провести їх класифікацію, моделювання, дослідити вплив на основні характеристики діагностичної інформації.

На практиці одними з ефективних та найбільш інформативних методів діагностування турбомашин є методи вібраційної та віброакустичної діагностики. Ідея вібраційної діагностики пошкоджень полягає у використанні змінювання модальних характеристик (власні частоти та форми коливань) та вібраційних характеристик (найчастіше – спектральних) коливань об'єкта чи його елементів при появі та розвитку пошкодження, що зумовлено зміною жорсткості. Але при застосуванні вібраційної діагностики до конкретного об'єкту виникають проблеми адекватного моделювання пошкодження та вібраційних процесів, що протікають в контрольованому об'єкті, проблеми реєстрації коливань, їх аналізу та інтерпретації результатів.

В роботі аналітично та чисельно досліджуються вібраційні та модальні характеристики ротора з поперечною поверхневою тріщиною при його стаціонарному та нестационарному (з прискоренням) обертанні.

Для аналітичних досліджень використано нелінійні рівняння руху в обертовій системі координат. Тріщина моделюється як функція "дихання", а для визначення закритої чи відкритої тріщини використовується кут між середньою лінією тріщини та вектором обертання.

Для чисельного визначення власних частот та форм коливань використано метод скінчених елементів.

Ключові слова: вібраційна та віброакустична діагностика, системи моніторингу, пошкодження роторів, модальні характеристики, вібраційні характеристики.

УДК 621.375

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРИОЛИСОВА ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА

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

Объектом исследования был кориолисов вибрационный гироскоп, представляющий собой твердотельный инерциальный датчик осцилляторного типа с распределенными параметрами. Исследовался ряд гироскопов, выполненный в четырех вариантах, отличающихся массогабаритными характеристиками (рис. 1). В рамках расчета сборки промоделировано влияние основных геометрических параметров резонатора на его податливость.

Найдены парциальные частоты элементов конструкции кориолисова вибрационного гироскопа. Найдены основные динамические характеристики, получены амплитудно и фазочастотные характеристики.



Рисунок 1

Исследуемый кориолисов вибрационный гироскоп прошел этап первоначальной оптимизации по разнесению собственных частот конструктивных элементов, поэтому возникла необходимость с высокой достоверностью определить собственные частоты конструкции, учитывая все сопряжения ее элементов и существующие закрепления.

Проводившиеся подобные исследования показали недостаточность при определении собственных частот сборочных единиц применение собственных систем возбуждения и съема информации, которая может быть эффективна в случае не достаточной соосности либо отбалансированности элементов гироскопа.

скопа. Поэтому проверка достоверности результатов моделирования проводилась экспериментальным путем с применением акустических методов снятия информации и ее дальнейшей обработки.

Ключевые слова: кориолисов вибрационный гироскоп, метод конечных элементов, акустические методы.

УДК 624.131

ПРЕЦИЗИЙНІ ВИМІРЮВАННЯ ВІБРОПЕРЕМІЩЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

*Аврутова І.В., Палійчук Д.В. Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Сучасний рівень розвитку мікроелектромеханічних систем, нанотехнологій, інтелектуальних датчиків висуває досить жорсткі вимоги до підготовки робочих місць, де виготовляються та випробовуються прилади. Зокрема, в прецизійному приладобудуванні при використанні електронних мікроскопів, на робочих місцях з виготовлення прецизійних приладів вагомим стає рівень вібрацій. Буває, що допустимий рівень вібрацій сягає десятих долів мікрона. Для забезпечення такої точності у низькочастотному діапазоні необхідно вживати додаткових заходів.

В рамках дослідницьких робіт були проведені вимірювання рівня вібропереміщень в лабораторіях інституту ім. Є.О. Патона, де був встановлений електронний мікроскоп. Для цього використовувалась прецизійна комп'ютеризована система, розроблена на кафедрі приладів і систем орієнтації і навігації, в яку входили два компенсаційних навігаційних акселерометра, ноутбук та блок живлення. Вимірювання проводились відносно двох ортогональних осей приміщення при різних умовах – з урахуванням впливу вузлів електронного мікроскопу, переміщення персоналу, зовнішніх збурень від транспорту. Із отриманого сигналу віброприскорення отримували вібропереміщення. Для цього потрібно було проінтегрувати двічі сигнал. Але, як відомо, саме в низькочастотному діапазоні при інтегруванні на передньому плані постають похибки інтегрування від присутності постійної складової у вимірювальному сигналі. Тому спочатку із сигналу віднімали постійну складову, а вже потім проводили подвійне інтегрування. Тільки після цієї процедури проводився спектральний аналіз.

В залежності від місця вимірювання в досліджуваних приміщеннях та умов впливу розрізнялись і значення вібропереміщень. Так, без власної віброкомпенсації електронного мікроскопа значення вібрації сягали 1,2-1,6 мкм, а із включеною віброкомпенсацією – 0,1-0,6 мкм на частоті 2 Гц. На частотах від 3 до 10 Гц значення вібропереміщень не перевищували 0,5 мкм, що повністю задовільняло висунутим вимогам до рівня вібрацій.

Отримані результати дозволяють визначати рівень вібро-прискорень, -швидкостей та -переміщень й на інших об'єктах, де суттєвим є вплив вібрацій досить низького рівня.

Ключові слова: вібропереміщення, низькочастотний діапазон, рівень вібрації.

УДК 62-50

ДО ПИТАННЯ ПОЧАТКОВОГО ВИСТАВЛЕННЯ БІНС НИЗЬКОГО КЛАСУ ТОЧНОСТІ

*Мелащенко О.М., Возненко М.В., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Разючі успіхи в розвитку MEMS-технологій дозволяють створювати малогабаритні інтегровані БІНС прийнятною точності. Внаслідок своєї дешевизни такі інтегровані системи знаходять широке коло застосувань – від автомобілебудування до безпілотних апаратів.

Критичним для успішного функціонування інтегрованої БІНС є етап її початкового виставлення. На цьому етапі в стаціонарному положенні рухомого об'єкту здійснюються процеси горизонтування та гірокомпасування БІНС. Особливістю дешевої навігаційної системи є те, що мікромеханічний гіроскоп її інерціального вимірювального блоку не дозволяє вимірювати кутову швидкість обертання Землі, а тому реалізувати класичний алгоритм гірокомпасування на такому датчику неможливо. Для курсового виставлення дешевої БІНС необхідна зовнішня інформація. Цю інформацію отримують за допомогою магнітометрів.

Курс на основі сигналів магнітометрів знаходять, проектуючи вимірний вектор напруженості магнітного поля Землі на горизонтальну площину вибраної навігаційної системи координат і знаходячи арктангенс відношення ординати та абсциси цього вектора. При такому способі знаходження кута курсу виникають дві складнощі: по-перше, точність визначення курсу залежатиме від точності горизонтування, і по-друге, потрібно розв'язувати проблему виродження функції арктангенсу.

В доповіді пропонується для початкового виставлення БІНС за сигналами магнітометра використовувати модель магнітного поля Землі. За такого підходу початкова матриця напрямних косинусів між інерціальною та зв'язаною системами координат знаходиться як функція осереднених на певному проміжку часу значень магнітометрів, акселерометрів, сталої прискорення вільного падіння та вектора напруженості магнітного поля Землі в даній точці земної поверхні. Також варто зауважити, що запропонований підхід до використання сигналів магнітометрів дозволяє спростити рівняння вимірювань у алгоритмі фільтра Калмана, на основі якого здійснюється комплексування інерціальної системи та системи глобального позиціонування.

Моделювання інтегрованої БІНС проводилось в середовищі MatLab із застосуванням пакету Simulink.

Ключові слова: інтегрована БІНС, MEMS-технологія, модель магнітного поля Землі.

УДК 621.45.01.001

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА СИЛОВОЙ ТУРБИНЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Яцко Л.Л., ОАО НТК "Электронприбор", г. Киев, Украина

Практика эксплуатации современных авиационных двигателей показывает, что их значительная часть не вырабатывает свой ресурс в пределах до 20%-25% в связи с появлением и развитием повреждений в элементах конструкции двигателей. Для разных типов двигателей примерно от 15% до 65% отказов, приводящих к досрочному снятию двигателя с эксплуатации, обусловлены повреждениями проточной части двигателя: повреждениями и обрывами лопаток компрессоров и турбин, разрушениями дисков компрессоров, повреждениями и обрывом валов компрессоров и турбин. В последних случаях повреждения приводят к полной потере работоспособности двигателя и непоправимым катастрофическим последствиям.

Одним из выходных параметров двигателя, по изменению которого можно судить о состоянии вала силовой турбины, является частота вращения ротора силовой турбины. При обрыве вала наблюдается резкое снижение частоты вращения ротора, что может служить диагностическим признаком повреждения. Достижение признаком некоторого заранее определенного порогового значения в процессе эксплуатации на стационарных и нестационарных режимах может использоваться для запуска алгоритма защиты силовой турбины, что обеспечит локализацию потенциально опасной для двигателя неисправности и поможет избежать разрушения двигателя.

Данная работа посвящена решению задачи теоретического обоснования и практической реализации метода параметрической диагностики повреждения и обрыва вала силовой турбины с целью создания надежного и эффективного алгоритма защиты двигателя в случае возникновения такой неисправности. Теоретическое обоснование включает разработку математической модели обрыва вала силовой турбины, анализ возможных эксплуатационных девиаций частоты вращения на переходных режимах двигателя (запуск, выход на режим, останов) для бездефектного состояния вала, определение диагностических признаков и пределов их изменений для каждого технического состояния объекта на стационарных и нестационарных режимах эксплуатации. Результатом практической реализации метода является разработанный на основании теоретических и

экспериментальных исследований алгоритм защиты двигателя (локализации разрушения) и разработанные методики его отладки и тестирования при имитационном моделировании и стендовых испытаниях двигателя.

Ключевые слова: авиационные двигатели, параметрическая диагностика, обрыв вала, локализация повреждения, алгоритм защиты двигателя.

УДК 62-752.4: 528.528

ВИСОКОТОЧНИЙ ГІРОТЕОДОЛІТ: ОСОБЛИВОСТІ СХЕМНОГО РІШЕННЯ І КОНСТРУКЦІЇ

*Ліхоткін О.М., Казенне підприємство «Центральне конструкторське бюро «Арсенал»,
м. Київ, Україна*

Необхідність точного визначення азимута орієнтирного напрямку існує у багатьох галузях застосування сучасної цивільної та військової техніки (ракетно-артилерійська, топогеодезична, будівельна, маркшейдерська та ін.) та при виконанні геодезичних робіт в умовах замкнених просторів, приміщень (під час прокладання метро, гірничих лав видобутків, тоннелей), для зменшення похибок визначення напрямків та координат при роботі з використанням теодолітів, для визначення орієнтування базових чи монтажних напрямків об'єктів та ін.

Існуючі системи визначення азимута орієнтирного напрямку (триангуляційна мережа, різноманітні компаси, супутникові системи) в тій чи іншій мірі мають такі недоліки: неавтономність, недостатня точність, велика тривалість вимірювання, висока вартість та ін. Більшості цих недоліків позбавлені наземні гіроскопічні прилади орієнтації – гірокомпаси та гіротеодоліти. Сучасні гірокомпаси та гіротеодоліти забезпечують високу точність вимірювання азимута, порівняно малий час вимірювання та автономність.

Для підвищення конкурентної привабливості нового гіротеодоліта відносно вже існуючих гіроприладів та інших систем визначення азимута орієнтирного напрямку разом з його вдосконаленням з боку зменшення похибок треба забезпечити вдосконалення також і зручності його використання за рахунок зменшення ваги та розмірів, зменшення його собівартості і ціни.

Одною з можливостей досягнення цієї мети є повернення до розподілу функцій визначення напрямку астрономічного меридіану гірокомпасом та передачі його на місцеві орієнтири теодолітом (перші гіротеодоліти були створені шляхом поєднання в єдиному пристрої гіроскопічного маятникового гірокомпаса та теодоліта). Цьому сприяє також і те, що обсяг геодезичних робіт, виконуваних теодолітом при визначенні напрямків та координат на місцевості значно перевищує обсяг робіт, виконуваних гірокомпасом, який може використовуватися час від часу для „списування” накопичених похибок вимірювань.

В доповіді буде представлено високоточний автоматичний гіротеодоліт UGT-A, якій знаходиться в КП «ЦКБ «Арсенал» в стадії виробництва, в схемі

побудови і конструкції якого враховані вищезазначені ідеї, орієнтовна СКП визначення азимута якого складає до $1''$.

Ключові слова: азимут, гіротеодоліт, схема побудови, конструкція.

УДК 531.383

ДЕЯКІ ВИСНОВКИ З ВИВЧЕННЯ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ ЕЙНШТЕЙНА

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

Встановлено [1], що співвідношення між абсолютною, переносною і відносною швидкостями точки, запропоновані А. Ейнштейна, не задовольняють умову виконання принципу відносності. За перетвореннями Ейнштейна результат визначення величини і напрямку відносної швидкості двох точок суттєво залежать від того, яку з цих двох точок обрано як полюс. Автором запропонований варіант перетворень, за яким принцип відносності виконується, тобто визначення відносної швидкості не залежить від обрання полюсу. Одночасно цим доведено, що постулати, що лежать в основі теорії відносності, можна задовольнити різними співвідношеннями, відмінними від прийнятих Ейнштейном.

Показано [1], що тим самим прийнятим законам складання швидкостей, що задовольняють постулати теорії відносності, можуть відповідати досить різні співвідношення між "часами" основної і переносної систем відліку і між абсолютним, переносним і відносним переміщеннями точки. Серед них є такі, за якими періоди того самого коливального процесу в основній і переносній системах відліку є тими самими. Тобто, за ними, плин процесів не залежить від швидкості відповідної системи відліку і виключається парадокс близнюків (що відповідає класичним, ньютонівим уявленням).

Більшість результатів динаміки матеріальної точки, одержаних за допомогою теорії відносності Ейнштейна, не спираються на відомі перетворення Ейнштейна-Лоренца. Вони пов'язані лише з поданням швидкості у вигляді чотири-вимірного вектора. При цьому не обов'язково використовувати псевдоевклідовий простір Мінковського. З тим самим успіхом можна використовувати подання швидкості у виді кватерніона [2], модуль якого завжди зберігається постійним і рівним швидкості світла. Вимога зберігання при русі точки так званого часово-просторового інтервалу не впливає з постулатів теорії відносності і не є обов'язковою. Більш того, саме ця вимога є джерелом виникнення парадоксу близнюків.

Вивчення пояснення виникнення дрейфу перигелію Меркурія показує, що ті результати, до яких приводить сумісне застосування як спеціальної, так і загальної теорій відносності Ейнштейна, можуть бути досягнуті і застосуванням класичної механіки, якщо врахувати кінцеву швидкість розповсюдження гравітаційної дії між гравітуючими тілами, наприклад, використовуючи для опису

руху замість ньютонівського гравітаційного потенціалу потенціал, запропонований Паулем Гербером ще у 1898 році [3].

Одним з головних досягнень теорії відносності Ейнштейна вважається опис відхилення променя світла при проходженні його поблизу гравітуючого тіла. Але, як показано у [4], пояснення відхилення променя можна одержати і у рамках класичної механіки.

Головний висновок: теорія відносності Ейнштейна не має твердого ані практичного, ані теоретичного підґрунтя. Головною перешкодою на шляху розвитку фізичної теорії у цьому напрямку є відсутність експериментальних даних про властивості ефіру і про механізм розповсюдження світла в ефірі.

Ключові слова: теорія відносності, механіка, критика.

Література

1. Лазарев Ю. Ф. Зауваження щодо релятивістської кінематики складного руху точки. - Наукові вісті НТУУ "Київський політехнічний інститут", 2005, № 3. – С.118-125.
2. Лазарев Ю. Ф. Застосування кватерніонів у механіці матеріальної точки. Наукові вісті НТУУ "Київський політехнічний інститут", 2004, № 4. – С.79-86
3. Носков Н. Явление запаздывания потенциала, «Наука Казахстана», №20 (56), 1995 г; - Интернет, НиТ. . Текущие публикации, 1997.
4. Юровицкий В. М. Движение света и релятивистская механика в гравитационном поле. – М.: Интернет, 2004.

УДК 528.526.6

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ОСНОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ НАЗЕМНОГО МАЯТНИКОВОГО ГИРОКОМПАСА

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

В настоящее время актуальной является задача азимутального ориентирования подвижных объектов. При размещении наземного гирокомпаса непосредственно на объекте, без развязки основания под гирокомпас, определение азимута происходит при действии возмущений, при этом наибольшее влияние на точность прибора оказывают линейные низкочастотные возмущения. Для уменьшения влияния линейных возмущений, как правило, используются различные типы систем виброзащиты гирокомпаса. В частности, можно построить дополнительный контур управления для демпфирования колебаний в негиростабилизированной плоскости, поскольку погрешности, возникающие вследствие действия поступательных вибраций, пропорциональны углу поворота чувствительного элемента (ЧЭ) в этой плоскости.

Помимо линейных колебаний подвижного объекта также возникают и угловые колебания, которые оказывают воздействие на ЧЭ и систему виброзащиты прибора. Для анализа влияния угловых колебаний была составлена математическая модель гирокомпаса, а также модель Simulink для моделирования в сис-

теме Matlab. Проведено моделирование работы наземного маятникового гироскопа с системой виброзащиты при одновременном воздействии угловых и линейных колебаний основания.

Ключевые слова: наземный маятниковый гироскоп, возмущаемое основание, погрешность, угловые колебания, линейные колебания.

УДК 534.647

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ВИБРОВОЗМУЩЕНИЙ

*Андриенко В.Ю., Жуковский Ю.Г., Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

В современной практической деятельности очень часто приходится сталкиваться с вибрацией как источником нежелательных помех. Действительно, с развитием высоких технологий очень жесткие требования предъявляются по уровню вибраций к рабочим местам. Так, например, допустимый уровень виброперемещений на низких частотах при работе электронного микроскопа не должен превышать единиц микрометров, а в некоторых случаях – их долей.

В условиях современного города, где в основном сосредоточены современные высокотехнологичные предприятия, соблюсти подобные требования очень сложно. Поэтому перед производителями часто стоит задача, как определить источник вибровозмущений и устранить его нежелательные последствия.

К решению первой задачи чаще всего привлекают исследователей с соответствующей виброизмерительной аппаратурой, перед которыми стоит довольно сложная задача – не только определить уровень вибрационных возмущений, но и идентифицировать их источники.

Решить поставленную задачу можно двумя путями:

1. Измерение уровня вибраций производить путем поочередного отключения потенциальных источников вибрации. Этот путь трудоемкий и малоэффективный, так как не все источники вибровозмущений могут быть учтены. Значительная их часть может быть удалена от рабочего места на значительное расстояние.

2. Определить координаты источника или источников возмущений с помощью векторных виброизмерений. Суть этого метода заключается в использовании при виброизмерениях двух или более трехосных акселерометров, установленных на некотором расстоянии друг от друга, причем оси чувствительности соответствующих акселерометров в датчике взаимно параллельны. По полученным с каждого датчика трем проекциям виброускорения строится вектор, направление которого ориентировано на источник вибрации. Точка пересечения продолжения векторов двух и более датчиков определяет координаты источника вибрации. Ориентировать параллельность осей чувствительности соответствующих акселерометров в вибродатчике можно с помощью уровня и бус-

соли. При наявності декількох джерел вібровамушення поступають наступним чином. По кожному сигналу проекції вібровамушення на осі акселерометрів визначають спектри, а потім по їх амплітудним значенням на однакових частотах будують відповідні вектори, які вказують на джерело вібрації.

В випадку, коли джерело вібровамушення знаходиться на значному відстані, прив'язка до координат місцевості, де встановлені тріосні вібрдатчики, здійснюється з допомогою глобальної системи навігації ГЛОНАСС або GPS. В цьому випадку вібрдатчики розносяться на певну відстань, а інформація з них поступає в вимірний центр по безпроводній зв'язі з допомогою GSM/GPRS модема.

Ключові слова: вібровамушення, акселерометри, модуль вібровамушення, координати джерела вібрації.

УДК 629.19

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ БІНС

*Богданова А.В., Снопко В.О., Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

На відміну від платформових систем інерціальної навігації, в яких задача визначення кутової орієнтації основи розв'язується шляхом матеріалізації навігаційної системи координат у вигляді гіростабілізованої платформи, в платформових інерціальних навігаційних системах (БІНС) розв'язування цієї задачі покладається на бортовий обчислювальний пристрій. Тому обчислювальний пристрій БІНС вирішує цілий комплекс додаткових завдань, таких як чисельне розв'язування кінематичних рівнянь орієнтації по вимірних проекціях кутової швидкості основи, обчислення за результатами визначення орієнтації проекцій лінійних прискорень на осі навігаційної системи координат тощо. У БІНС усі основні функції визначення положення основи виконує саме обчислювальний пристрій. Завдяки великому обсягу обчислень він є головним джерелом виникнення додаткових помилок, пов'язаних саме з процесом обчислення. З іншого боку, саме в обчислювальному пристрої можна передбачити певні засоби зменшення помилок, як обчислень (шляхом розробки відповідних алгоритмів), так і вимірювачів (шляхом утворення спеціальних алгоритмічних засобів і їх компенсації).

З цього випливає бажаність утворення при розробці БІНС програмної моделі обчислювального пристрою, на якій можна було б перевірити ефективність алгоритмів і утворених програмних засобів зменшення помилок визначення положення основи. Задачі розробки такої моделі і присвячена ця доповідь.

Сформульовані цілі побудови програмної моделі платформової інерціальної навігаційної системи. Розроблена структура моделі. Проведено аналіз іс-

нуючих і можливих алгоритмів чисельного інтегрування диференційних рівнянь БІНС. Виявлені головні труднощі утворення алгоритмів.

Найбільш просто і доцільно програмну модель утворювати у середовищі системи Matlab, перевагою якої є можливість ефективного використання матричної форми подання диференційних рівнянь при їх чисельному інтегруванні.

Проведена перевірка деяких існуючих алгоритмів інтегрування кінематичних рівнянь орієнтації. Розроблені деякі нові алгоритми, моделювання яких показало їх ефективність. Намічені шляхи утворення більш повної моделі роботи обчислювального пристрою БІНС. Встановлені задачі, які можуть бути вирішені на створюваній моделі. Розроблена основа програмної моделі і проведені її випробування для деяких часткових випадків.

Складений варіант моделі БІНС на основі використання апарату кватерніонів. Проведена перевірка адекватності моделі.

Ключові слова: безплатформова інерціальна навігаційна система, алгоритм, програмна модель, моделювання.

УДК 629.7.052

ЗАСТОСУВАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ У НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ

*Солонець І. О., Мироненко П.С., Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Сучасний рівень розвитку технологій дозволяє створювати прилади, існування яких ще декілька років тому здавалося б неможливим. Робота присвячена дослідженню застосування акселерометрів в новітніх технологіях для вимірювання прискорень, рівня вібрації, нахилу основи відносно горизонту тощо. Завдяки використанню цих приладів з'явилась можливість значно зменшити розміри, енергоспоживання, собівартість, при цьому збільшити точність, надійність, чутливість, температурний діапазон та інші характеристики пристроїв.

Розглядаються в основному мікроелектромеханічні системи (МЕМС) як перша сходинка у розвитку наносистем та молекулярних машин.

На базі МЕМС вже відбулася мініатюризація багатьох пристроїв, зокрема, систем навігації безпілотних літальних апаратів. В роботі досліджуються шляхи проникнення таких приладів в інші галузі промисловості: побутову техніку, електроніку, комп'ютери, автомобільну промисловість, медицину, спорт, охоронні системи та інше. Розглядається технологія, яка дозволить на базі МЕМС створити альтернативу кварцевим генераторам.

Практично сфера застосування датчиків лінійних прискорень в теперішній час обмежується лише уявою розробників.

Ключові слова: акселерометр, мікроелектромеханічні системи, новітні технології.

УДК 629.1.05

О СОКРАЩЕНИИ ВРЕМЕНИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ГИРОКОМПАСИРОВАНИЯ

¹⁾ Мелешко В.В., ²⁾ Габбасов С.М., Корнейчук В.В., Манохин В.И., ³⁾ Скуднева О.В.,
¹⁾ Национальный технический университет «Київський політехнічний інститут», г.Київ,
Украина, ²⁾ РПКБ, г.Раменское, Россия, ³⁾ МГТУ им.Баумана, г.Москва, Россия

Аналитическое гироскопирование (АГК) состоит в определении азимутального угла платформы по сигналам каналов горизонтальной интегрально-позиционной коррекции. Обычно с целью устранения влияния систематических составляющих угловой скорости ухода гироскопов платформы сигналы снимают в двух положениях платформы, отличающихся по азимутальному углу на 180 градусов. Такой режим называют двойным аналитическим гироскопированием. Характеристики режима гироскопирования – время и точность (погрешность). Обычное время двойного АГК порядка 20 минут. Рассмотрим алгоритм, который позволяет выполнить АГК за время, вдвое меньшее при приемлемой точности.

Используем схему интегрально-позиционной горизонтальной коррекции. Представим математическую модель системы в форме

$$\dot{x} = Ax + Gw,$$

где x - вектор переменных состояния системы, w - вектор белых шумов системы с единичной интенсивностью и нормальным распределением, $A(t)$ – матрица состояния, G - матрица формирования входных возмущений.

Составим следующий вектор переменных состояния

$$x = [\alpha_x \quad \alpha_y \quad V_x \quad V_y \quad u_\xi \quad u_\eta \quad \bar{\varepsilon}_x \quad \bar{\varepsilon}_y \quad \tilde{\varepsilon}_x \quad \tilde{\varepsilon}_y]^T.$$

Здесь α_i - углы негоризонтальности платформы, V_i - проекции абсолютной скорости места из-за вращения Земли, $u_\xi = -u_N \sin \chi$, $u_\eta = u_N \cos \chi$, $u_N = u \cos \varphi$, $u_\zeta = u \sin \varphi$, u – угловая скорость Земли, φ - широта, χ - определяемый азимутальный угол. Для моделирования случайного ухода гироскопов используем формирующий фильтр $\dot{\tilde{\varepsilon}} = -\mu \tilde{\varepsilon} + \sigma \sqrt{2\mu} w$, где μ - коэффициент затухания, σ - среднеквадратическое отклонение. Применяя для оценки переменных состояния дискретный фильтр Калмана, получаем оценки всех переменных состояния, используя доступные для наблюдения углы α_i и составляющие скорости V_i . Полученные оценки составляющих уходов гироскопов используем немедленно для компенсации их влияния.

Азимутальный угол платформы определяют по выходным сигналам горизонтальной коррекции, соответствующим составляющим абсолютной линейной скорости объекта из-за вращения Земли: $\chi_{np} = \arctg(V_y/V_x)$.

Приемлемой точности гироскопирования можно достичь, если получен-

ные оценки суммарного ухода гироскопов использовать для коррекции сигналов о линейной скорости объекта. В случае осреднения оценок уход погрешность гирокомпасирования в зависимости от азимутального угла объекта находится в пределах от 5 до 20 угловых минут.

Ключевые слова: аналитическое гирокомпасирование, фильтр Калмана.

УДК 681.783.27:62-8

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД ГОЛОВНОГО ЗЕРКАЛА ПРИБОРА С ПОВЫШЕННЫМИ ТОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Гордиенко В.И., Кондрашов С.В., Бурак А.В., Охрименко А.Г., Государственное предприятие «Научно-производственный комплекс «Фотоприбор», г. Черкассы, Украина

Работа посвящена анализу методов приблизительного, качественного преобразования следящих систем поворота объекта на уровне структурных схем.

В качестве исходной используется электромеханическая следящая система поворота объекта, используемая в составе серийно выпускаемого прибора.

Дано краткое описание используемых преобразований структурной схемы, приведены результаты экспериментальных исследований.

Предлагаемые методы преобразования следящих систем могут быть полезны в ситуациях, когда требуется изменение структуры СС (из-за сложности, невозможности получения требуемых выходных параметров и т.д.) при отсутствии необходимого запаса времени.

Ключевые слова: следящая система, структурное преобразование, командный вал, исполнительный вал.

УДК

КАЛИБРОВКА ДВУХОСНОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Аврутов В.В., Северин А.В., Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

Объектом исследования является двухосный микромеханический акселерометр, выполненный по технологии iMEMS®. Задачей калибровки является определение таких основных параметров акселерометра, как нулевые сигналы, масштабные коэффициенты, коэффициенты перекрестной связи, неперпендикулярности осей чувствительности, а также погрешности выставки акселерометра.

Предложена методика калибровки и разработана в среде Matlab программа расчета основных параметров двухосного акселерометра.

Экспериментальная установка для проверки предложенной методики калибровки акселерометров состоит из персонального компьютера, оптической делительной головки типа ОДГ-5, микроконтроллера PIC 16 F688 со встроенным 8-битным АЦП и акселерометра ADXL203EB, любезно предоставленного компанией Analog Devices (США).

Ключевые слова: акселерометр, калибровка.

УДК 629.7.018

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЖИМУ НАВІГАЦІЇ В БОРТОВОМУ ТРЕНАЖЕРНОМУ КОМПЛЕКСІ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТЧИКІВ

¹⁾ Жук С.В., Кадочников С.М., Король І.І., Жук В.Л., ²⁾ Михайлюк О.Д., Лампик М.М.,
¹⁾ Казенне підприємство "ЦКБ "Арсенал", м. Київ, Україна,
²⁾ Державний авіаційний науково-випробувальний центр, м. Феодосія, Україна

Бортовий тренажерний комплекс БТК-39, створений на базі учбово – тренувального літака Л-39, забезпечує навчання і підготовку льотчиків для експлуатації літаків МіГ-29 (Су-27). Однією із задач такого комплексу є навчання елементам пілотування у форматі літаків бойової авіації, передумовою чого є реалізація режиму навігації. На базовому літаку Л-39 відсутні бортовий обчислювач і комплекс навігаційного обладнання, а політ за маршрутом був реалізований тільки у режимі ручного керування. У зв'язку з цим виникла низка особливостей реалізації режиму навігації тренажерним комплексом БТК-39, які пов'язані з вирішенням наступних питань.

Встановлення в кабіні літака спеціального пульта керування режимами забезпечує включення режиму навігації.

Оснащення літака приймачем супутникових навігаційних систем надало можливість одержувати значення поточних координат літака.

Введення в склад бортового обладнання цифрового обчислювача дозволило вводити в його пам'ять координати проміжних пунктів маршруту (ППМ) або аеродромів: φ_i - географічну широту чергового i -го ППМ, λ_i - географічну довготу чергового i -го ППМ, висоту H_i над рівнем моря i -го ППМ. Розроблена методика обчислення параметрів навігаційної обстановки. Так, значення горизонтальної дальності D_i та орієнтовного часу польоту T_i до i -го ППМ обчислюються відповідно по формулам:

$$D_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Z_i^2}, \quad T_i = \frac{D_i}{W},$$

причому $\Delta X_i = k_1(\varphi_i) \cdot (\varphi_i - \varphi)$, $\Delta Z_i = k_2(\varphi_i) \cdot (\lambda_i - \lambda)$, де $k_1(\varphi_i)$ – ціна градуса географічної широти в метрах, $k_2(\varphi_i)$ - ціна градуса географічної довготи в метрах), φ і λ - відповідно географічна широта та географічна довгота літака, W - шляхова швидкість літака. Одержані формули для обчислення поточних параметрів навігаційної обстановки: дальності D_i , розрахункового часу польоту T_i до i -го

ППМ, кута між північним напрямком істинного меридіану і напрямком на i -й ППМ, відхилення по курсу та бокового відхилення поточного польоту від заданого маршруту.

Встановлення на літаку індикатора на лобовому склі та індикатора прямого бачення забезпечило відображення навігаційної обстановки.

Врахування особливостей реалізації режиму навігації бортовим тренажерним комплексом БТК-39 дозволило забезпечити на літаку Л-39 політ за заданим маршрутом в форматі літаків бойової авіації МіГ-29 (Су-27).

Ключові слова: літак, тренажерний комплекс, режим навігації.

УДК 629.7.05

МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ БЛОКА ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Лобко П.Н., Мелешко В.В., Аврутов В.В., Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Под калибровкой понимают определение характеристик инерциальных чувствительных элементов (ЧЭ) в результате специально организованного процесса измерений исходных параметров и их следующей обработки. Эта процедура требует значительных затрат времени. Существует множество методик калибровки с помощью дискретного преобразования Фурье, метода наименьших квадратов - последовательного и непоследовательного, при расположении блока ЧЭ в определенных положениях. Каждый из них имеет свои недостатки и преимущества.

Рассмотрены два метода калибровки. Первый метод основан на использовании метода наименьших квадратов. Он дает возможность использовать модели выходных сигналов датчиков любой сложности. Но при этом должно выполняться условие – количество измерений не меньше количества неизвестных в модели выходного сигнала. Чем больше проведено измерений, тем выше точность определения коэффициентов модели. Используя последовательный метод наименьших квадратов мы можем обеспечить заданную точность определения коэффициентов, производя минимальное количество измерений.

Второй метод заключается в том, что ось чувствительности акселерометра устанавливается по направлению вектора g и производится измерение. После измерения датчик поворачивается на 180^0 и проводится повторное измерение.

Используя модель выходного сигнала акселерометра (1) с помощью таких поворотов, можем определить коэффициенты модели

$$u = u_0 + k_x a_x + k_y a_y + k_z a_z. \quad (1)$$

Во втором методе вводится предположение, что ось чувствительности строго совпадает с направлением вектора g , что не всегда удается обеспечить. Пре-

имуществом данного метода есть его простота в использовании. Чтобы получить коэффициенты модели, нужно провести простые математические операции с полученными выходными сигналами.

Первый метод сложнее второго, но он дает возможность выбирать нужную точность определения коэффициентов, использовать сложные модели, используя одну установку на делительной головке определить все коэффициенты чего нельзя достичь используя второй метод.

Проведен расчет коэффициентов моделей выходных сигналов акселерометра первым и вторым методом. С помощью полученной модели было проведено измерение углов поворота. Результаты показали что среднеквадратическое отклонение (СКО) первого метода $СКО1=0,4070^0$, второго $СКО2=0,5142^0$. Среднее значение ошибки определения угла в первом методе составляет $СЗ1= -0,0510^0$ во втором методе $СЗ2= -0,5475^0$.

Ключевые слова: калибровка, блок инерциальных чувствительных элементов, МНК.

УДК 623.4.024

СОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЛИЧНОГО СОСТАВА СИЛОВЫХ СТРУКТУР

*Бурак А.В., Горецкий Е.И., Мазурин И.В., Охрименко А.Г.,
Научно-производственный комплекс «Фотоприбор» г. Черкассы, Украина*

Для обеспечения скрытого наблюдения и ведения прицельного огня из укрытий и нестандартных положений, а также обнаружения и распознавания целей по габаритам ростовой фигуры человека на дистанциях 50-300 м в любое время суток, на НПК «Фотоприбор» разработан ряд приборов от простого оптико-механического до сложных электронно-оптических.

Наиболее простой – оптический прицел с гибкой связью окуляра. Благодаря наличию двух призмённых шарниров в окулярной части прицела, линии прицеливания и визирования разнесены (т.е. окуляр можно поворачивать в любую сторону при неизменном положении объектива и прицельной сетки), что позволяет вести прицельный огонь из укрытий.

Ночной прицел пассивного действия позволяет распознать фигуру человека при ночной естественной освещенности (ЕНО) равной $5 \cdot 10^{-3}$ лк на дальности до 400 м. Разработка выполнена на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОПа) 2⁺ поколения и не уступает зарубежным образцам.

Современный уровень развития электронных технологий позволяет вести разработку оптико-электронных прицелов с использованием ПЗС-матриц, работающих как днем так и ночью. При этом информация о местоположении цели может выводиться в любое обусловленное место, например, на шлем-маску оператора.

Также для силовых структур разработаны, изготовлены и испытаны очки ночного видения ОНВ-300. Выполненные по бинокулярной схеме на ЭОПах 2⁺ поколения, очки конструктивно размещены на шлем-маске и позволяют вести стрельбу из легкого стрелкового оружия, управлять автомобилем, проводить обслуживание техники и ремонтные работы в полной темноте.

Использование ПЗС-матриц в очках ночного видения не только улучшает эксплуатационные характеристики (вес, габариты), но и повышает дальность обнаружения целей, понижает уровень освещенности наблюдений.

Применение ПЗС-матриц в сочетании с электронно-оптическими преобразователями позволяет получить качественно новые приборы наблюдения, зачастую более дешевые чем их аналоги, без потери их технических показателей и с возможностью дублирования и передачи информации в удобное для оператора место.

Ключевые слова: приборы наблюдения.

УДК 629.7.054

ПРИЧИНИ ВИКРИВЛЕННЯ ФУНКЦІЇ МОДУЛЯЦІЇ ГЕНЕРАТОРА ЗВУКУ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ

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

Доведено, що гіроскопічні прилади під дією проникаючого акустичного випромінювання мають похибки вимірювань, котрі можуть за величиною в деяких випадках перевищувати інші складові від дії кінематичних та силових чинників. Подекуди навіть постає загроза виходу їх з ладу. Це має місце за акустичного тиску у 150-160 децибел та при наявності явищ резонансного типу. Найбільш підвладні дії проникаючого випромінювання чутливі елементи системи корекції. Та не слід нехтувати і зміною динамічних властивостей власне підвісу.

Стосовно останньої тези, найбільш уразливим постає багатозначний підвіс, наприклад, двоступеневого поплавкового гіроскопа класу ДУСУ, або ДУСМ. Важка рідина, що оточує поплавець з гіроагрегатом, напрочуд добрий ретранслятор звуку усередину приладу. Таким чином, покращуючи динамічні властивості, вона зводить нанівець всі достоїнства такої ідеї.

Формуючи функцію модуляції, можна отримати бажаний спектр звукового випромінювання. Причому, являє практичний інтерес саме випадок однакового питомого вкладу кожної з форм коливань. Саме це має місце за натурних умов.

Але наявні генератори мають змогу вирішити цю проблему частково, тому що лінія спектру монотонно спадає і налічує форми коливань не вище 50. Крім того амплітуда вищих форм суттєво менша за нижчі.

Отже наявність широкої смуги форм коливань з приблизно рівною амплітудою дозволяють відтворити максимально адекватно натурні умови.

Роторна динамічна сирена має досить суттєвий за величиною кінетичний момент і, природно, на неї впливає кінематичне і силове збудження з боку основи. Наявність першого, зокрема кутової швидкості добового обертання Землі, призводить до виникнення гіроскопічного моменту, який намагається вектор кінетичного моменту встановити паралельно вектору кутової швидкості Землі. Це призводить до порушення вихідної паралельності площин ротора і статора і до викривлення функції модуляції та зменшення рівня генеруемого аеродинамічного шуму –

$$\Delta P = 20 \lg(1 - f_{\min} f_{\max}^{-1}), \text{ дБ.}$$

Ключові слова: функція модуляції, спектр генеруемого звуку.

УДК 629.7.054

ПИТАННЯ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ ПОПЛАВЦЯ ГІРОСКОПА

Мельник В. М., Карачун В.В., Гейко М.О., Кладун О.А. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Натурні та напівнатурні випробування двостепеневого гіроскопа за умов, наближених до експлуатаційних, беззаперечно доводять вплив проникаючого акустичного випромінювання на виникнення додаткових похибок вимірювань. Причиною прояву цього явища слугує акустична вібрація поверхні поплавця, яка у своїй сукупності сприймається приладом як «хибна» кутова швидкість основи і відповідним чином реагує на неї. Тобто, зменшуючи генеруему вібрацію поверхні поплавця, можна виправити ситуацію.

Шляхів вирішення проблеми декілька. Пасивні та активні методи звукоізоляції, автокомпенсаційні тощо. Привабливим постає шлях зміни лінії меридіану бічної поверхні з метою забезпечення ненульової Гаусової кривизни. Чисельний аналіз показує, що саме в площині шпангоута згинні пружні переміщення сягають $W_{\max}=0,426$ мкм, в той час як у кільцевому напрямку та за довжиною вони становлять лише $1,9 \cdot 10^{-8}$ мкм, що на 7...8 порядків менше за абсолютною величиною. Пояснення факту знаходяться на поверхні – у цих двох напрямках жорсткість значна вища. Отже, слід в радіальному напрямку збільшувати жорсткість. Для цього досить лінію меридіану бічної поверхні зробити опуклою, або угнутою. Окрім цього збільшується площа бічної поверхні і, таким чином, демпфіруючі властивості рідини підвісу.

Останнім часом в техніці, зокрема в приладобудуванні, набувають розвитку методи інженерії поверхні. Ідея, яка пропонується, дозволить вирішити і безліч супутніх проблем натурального функціонування.

Якщо збурюючу хвилю надлишкового тиску прийняти у вигляді

$$P(z, \beta, t) = P_o \exp i[\omega t - k_o(\alpha z + \beta R_\beta)],$$

де P_o – амплітуда; k_o – хвильове число; $\alpha = \cos \theta_1 \sin \theta$; $\beta = \sin \theta_1$; θ та θ_1 – кути, які визначають напрям нормалі до фронту плоскої хвилі, тоді згинні коливання можна записати наступним чином:

$$W(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn}(t) \exp(im\beta) \sin\left(\frac{n\pi z}{L}\right),$$

де m, n – числа напівхвиль; L – довжина поплавця.

Стосовно рівнянь динаміки підвісу, то їх має сенс записати у переміщеннях, додавши сили інерції. Зважаючи на специфіку приладів інерціальної навігації, доцільним постає не користуватися відомими рівняннями оболонок, але отримати для поставлених задач, що окреслюють можливі спрощення аналітичної моделі.

Ключові слова: інженерія поверхні, поплавковий гіроскоп.

УДК 621.39.1

ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНИВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

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

Современный этап развития технической диагностики ответственных элементов конструкций характеризуется интегрированным использованием разнообразных и высокочувствительных методов и средств диагностики. К этим методам можно причислить виброакустический метод свободных колебаний.

Данный метод характеризуется импульсным возбуждением свободно затухающих колебаний в объекте диагностики и дальнейшей обработкой принимаемого высокоинформативного сигнала с целью определения наличия или отсутствия дефекта, а также для его оценки и мониторинга.

Образование и рост усталостного дефекта изменяет колебательный процесс, что приводит к обогащению спектральной плотности свободных колебаний по высшим гармоникам и изменяет параметр затухания. Данный факт позволил определить диагностические признаки и создать вектор диагностических признаков. На основании этого были определены функциональные зависимости составляющих вектора диагностических признаков от параметра дефекта, в качестве которого выступает относительное изменение жесткости, которое функционально зависит от размера усталостного повреждения. Данные зависимости использовались для создания метода обработки диагностической информации в виде наборов вектора. Процедурой обработки служит критерий максимального правдоподобия.

Созданный метод обработки позволил решить задачу диагностики определения состояния объекта контроля на наличие дефекта и задачу оценки его па-

раметра. Для анализа алгоритмов обнаружения состояния и оценки было проведено моделирование процесса диагностики и экспериментальные исследования малой трещины в имитаторах лопатки газотурбинного двигателя. Для оценки эффективности работоспособности алгоритмов использовались классификаторы состояний в виде нейронных сетей.

Полученные результаты характеризуют возможность виброакустического метода свободных колебаний для эффективной идентификации состояния и мониторинга ответственных элементов машин и механизмов при незначительных отклонениях от их технического состояния.

Ключевые слова: диагностика, оценка, метод свободных колебаний, усталостный дефект, вектор диагностических признаков, алгоритм, мониторинг.

УДК 681.783.27

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОЛОВНОГО ЗЕРКАЛА

Компаниец Ю.М., Бурак А.В., Семенов В.А., Сенин В.И., Государственное предприятие Научно-производственный комплекс “Фотоприбор”, г. Черкассы, Украина

Работа посвящена поиску способов уменьшения увода линии визирования путём применения различных конструктивных решений головного зеркала.

Приведены обязательные технические условия, выполнение которых необходимо при разработке головных зеркал.

Дано краткое описание существующих конструкций головных зеркал: устройства крепления, особенности конструкций зеркал и их оправ, их преимущества и недостатки. Предлагаемые варианты головных зеркал могут использоваться при проектировании различных оптико-механических приборов в зависимости от требуемых тактико-технических характеристик, условий эксплуатации.

Применение данных конструктивных решений является одним из эффективных способов повышения точностных параметров приборов и обеспечения их надёжной и долговременной работы.

Ключевые слова: головное зеркало, линия визирования, оси вращения, подложка, термоувод.

УДК 621.382.049.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРИРОВАННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

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

В настоящее время большое распространение получают интегрированные

навигационные системы, основанные на комплексном использовании данных, вырабатываемых спутниковыми и инерциальными средствами.

Рассматривается слабосвязанная (loosely coupled) схема построения интегрированной системы. В ней измерения для задачи фильтрации формируются путем непосредственного сопоставления координат и скоростей, вырабатываемых в инерциальной (ИНС) и спутниковой (СНС) навигационных системах, а вектор состояния включает ошибки этих систем в определении навигационных параметров.

При моделировании за основу были взяты обобщенные уравнения ошибок ИНС, в которой коррекция от СНС проводилась по скоростям, координатам, а также по обоим параметрам. Помехи измерения СНС взяты в виде стационарных центрированных случайных процессов со следующими параметрами: среднеквадратическое отклонение по скорости $y_V = 0,05$ м/с; по координатам – $y_k = 10$ м; коэффициент затухания $m = 1$ с⁻¹.

Для оценки вектора состояния был использован алгоритм дискретного фильтра Калмана. Моделирование проводилось в пакете MATLAB для двух типов датчиков:

микромеханических гироскопов и акселерометров:

- дрейф гироскопов $y = 0,1$ °/с;
 - смещение нуля акселерометров: $Df = 25 \cdot 10^{-3}$ g;
- а также лазерных гироскопов и точных акселерометров:

- дрейф гироскопов $y = 0,01$ °/час;
- смещение нуля акселерометров: $Df = 10^{-5}$ g;

В результате погрешность оценивания скоростей составила: 0,01 м/с для первого типа датчиков и 0,04 м/с для второго. Погрешность оценивания координат: 2 м и 4 м соответственно.

Для оценивания углов ориентации был применен алгоритм скользящего усреднения (на интервале 10 и 100 секунд). После этого погрешность по этому параметру составила 0,5° для первого типа датчиков и 20 угл. секунд для второго.

Ключевые слова: интегрированная навигационная система, инерциальная навигационная система, спутниковая навигационная система, фильтр Калмана.

УДК 535.242.17

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ПОИСКА ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ НАВЕДЕНИЯ

Хомченко А.Я., Гордиенко В.И., Голуб А.Г., Научно-производственный комплекс «Фотоприбор», г. Черкассы, Украина

В настоящее время при разработке современных оптико-электронных приборов наблюдения большое значение уделяется повышению эффективности визуального поиска объектов. Известно, что вероятность обнаружения объектов

зависит не только от оптических параметров визуального канала наблюдения, но и методов наведения линии визирования на объект. При непрерывном просмотре поля поиска, превышающем угловое поле зрения, вероятность обнаружения объекта зависит от допустимой скорости поиска (наведения линии визирования прибора наблюдения), которая в свою очередь зависит от параметров объекта: его контраста с фоном, углового размера и угловой скорости.

Используя подход о допустимой скорости поиска, предлагается способ адаптивного управления скоростью наведения линии визирования прибора наблюдения, который предусматривает автоматическое регулирование скорости наведения в соответствии с допустимым значением скорости поиска.

Способ базируется на схемотехнической реализации аналитического выражения для значения максимальной скорости наведения $\omega_{\text{макс}}^{\text{пл}}$ линии визирования прибора наблюдения, в соответствии с изменением кратности увеличения оптической системы наблюдения и дальности до объекта:

$$\omega_{\text{макс}}^{\text{пл}} = \begin{cases} k\omega_{\text{д}} / \Gamma_{\text{ос}} ; \text{ при } D_{\text{ц}} \geq D_{\text{макс}} \\ k\omega_{\text{д}} / \Gamma_{\text{ос}} \times \sqrt{\left(\frac{D_{\text{макс}}}{D_{\text{ц}}} \right)^3} ; \text{ при } D_{\text{ц}} \leq D_{\text{макс}} \end{cases},$$

где: k - коэффициент пропорциональности; $\omega_{\text{д}}$ - допустимая скорость наведения линии визирования при однократном увеличении оптической системы наблюдения; $\Gamma_{\text{ос}}$ - кратность увеличения оптической системы наблюдения; $D_{\text{ц}}$ - дальность до объекта; $D_{\text{макс}}$ - максимальная дальность обнаружения объекта.

В докладе рассматриваются вопросы использования адаптивного управления скоростью наведения прибора наблюдения по критериям заданной вероятности обнаружения объектов с выше указанным подходом.

Приведены данные сравнительного анализа с существующими методами управления скоростью наведения. Показана возможность сокращения времени поиска объектов и увеличения точности слежения за скоростными объектами.

Ключевые слова: прибор наблюдения, вероятность обнаружения, скорость наведения, увеличение, дальность обнаружения.

УДК 629.7.054

ВИБІР КООРДИНАТНИХ ФУНКЦІЙ ПІДВІСУ ПОПЛАВКОВОГО ГІРОСКОПА

Карачун В.В., Мельник В. М., Кладун О.А., Гейко М.О. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Аналізуючи динаміку підвісу поплавкового гіроскопа за довільної лінії меридіану поплавця, представляється доцільним пружній рух поверхні під дією зовнішнього просторового чинника відшукувати у вигляді:

$$U_z = \sum_{k=0}^{\infty} [U_{z,k}^{(1)}(t, z) \cos k\varphi + U_{z,k}^{(2)}(t, z) \sin k\varphi],$$
$$U_\varphi = \sum_{k=0}^{\infty} [U_{\varphi,k}^{(1)}(t, z) \sin k\varphi + U_{\varphi,k}^{(2)}(t, z) \cos k\varphi],$$
$$W = \sum_{k=0}^{\infty} [W_k^{(1)}(t, z) \cos k\varphi + W_k^{(2)}(t, z) \sin k\varphi],$$

де U_z, U_φ, W – відповідно пружні переміщення поверхні поплавця у поздовжньому, за паралеллю та радіальному напрямках; φ – колова координата; $k = 0, 1, 2, \dots$ ($k = 0$ – вісесиметрична деформація, $k = 1$ – антисиметрична деформація, $k \geq 2$ – циклічна деформація).

Оскільки розглядаються замкнені оболонки обертання, тому у коловому напрямку (вздовж паралелі) слід очікувати періодичності силових та кінематичних полів, і, отже, вони певним чином повинні бути залежними від періодичних функцій $\cos k\varphi$. У свою чергу, зовнішнє динамічне навантаження у трьох напрямках може бути і неперіодичним за координатою φ . Але збурюючий чинник

$$q_i = q_i(t, z, \varphi), \quad i = \overline{1, 3}$$

завжди можна, в усякому випадку формально, представити у вигляді рядів Фур'є за координатою φ .

Тому доцільно вважати, що

$$q_i = q_i(t, z, \varphi) = \sum_{k=0}^{\infty} [q_{i,k}^{(1)}(t, z) \cos k\varphi + q_{i,k}^{(2)}(t, z) \sin k\varphi], \quad i = \overline{1, 3}.$$

Найбільш цікавим для практики постає випадок вісенесиметричного навантаження, коли $k = 1$. Цей випадок має місце при дії, наприклад, антисиметричної складової P_a проникаючого акустичного випромінювання

$$P_a = \frac{1}{2} (P_{10} + P_{20} - P_{30}) \exp i(\omega t - ky \sin \theta),$$

де k – хвильове число; P_{10}, P_{20}, P_{30} – відповідно амплітуда тиску у падаючій, відбитій та пройдешній хвилях.

Ключові слова: підвіс поплавкового гіроскопа, координатні функції, невісесиметрична деформація.

УДК 621.833:519.004

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І БІСПЕКТРАЛЬНА ОБРОБКА
АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ
ВТОМНИХ ТРІЩИН В ЛОПАТКАХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ**

Сопілка Ю.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Елементи робочих коліс (лопатки, диски) авіаційних двигунів є одними з

найбільш напружених елементів і на них припадає значна частина експлуатаційних дефектів вібраційного походження.

Для підвищення надійності, збільшення ресурсу та попередження відмов або раптових руйнувань в процесі експлуатації авіаційних двигунів необхідні ефективні методи і сучасні засоби діагностики пошкоджень на стадії їх зародження та початкового розвитку.

Віброакустичні процеси, які протікають в авіаційних двигунах, є адитивною сумішшю негаусівських сигналів з гаусівським шумом. Для обробки таких складних нелінійних процесів найбільш доцільно використовувати біспектри:

$$S_{3x}(f_1, f_2) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} C_{3x}(k, l) \exp(-j2\pi f_1 k) \exp(-j2\pi f_2 l),$$

де $C_{3x}(k, l) = E\{x^*(n)x(n+k)x(n+l)\}$ - потрійна автокореляційна функція.

Для підтвердження отриманих раніше результатів теоретичних досліджень і математичного моделювання були проведені експериментальні дослідження вимушених коливань імітатора робочого колеса при стаціонарних вібраційних збуреннях. Як імітатор колеса використано вентилятор з пластику, що має 7 лопатей, частота обертання якого в стаціонарному режимі складала 2400 об/хв, що відповідає частоті вібраційного збурення $f_p = 40$ Гц. Період дискретизації вибрано $f_d = 5 \cdot 10^{-5}$ с, що забезпечило загальну кількість точок 200000 на часовому інтервалі $t = 10$ с. Акустичний шум, що випромінювався імітатором колеса при його обертанні, вимірювався за допомогою конденсаторного мікрофону та через звукову карту подавався в ПЕОМ для обробки.

Експериментальні дослідження проведені для п'яти станів фізичної моделі: всі лопатки без пошкодження, одна лопатка при наявності концентратора дефекту. Концентратор дефекту утворено шляхом надрізу на боковій кромці, який тричі поглиблювався. Для кожного стану проведено по 5 вимірювань.

Біспектральний метод обробки інформації дозволив виділити малі зміни у вимірних акустичних сигналах, які зумовлені наявністю концентратора дефекту, що підтверджує можливість і ефективність його застосування в задачах віброакустичної діагностики малої втомної тріщини в лопатках робочих коліс авіаційних двигунів на стаціонарних режимах експлуатації. За результатами обробки визначені і проаналізовані діагностичні ознаки тріщини.

Ключові слова: віброакустична діагностика, лопатки, втомні пошкодження, обробка сигналів, біспектральний аналіз.

УДК 629.5.017.2

НЕЙРОИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСС СУДНА

*Еременко А.П., Снигур А.К., Национальный университет кораблестроения
им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина*

Одним из аспектов обеспечения безопасности мореплавания является контроль значений метацентрической высоты и координат расположения центра масс судна в процессе его плавания в условиях нерегулярного волнения. Недостаточная величина метацентрической высоты может привести к опрокидыванию судна. Определение координат центра масс позволяет контролировать правильность распределения груза, обеспечить необходимую дифферентовку судна для минимизации сопротивления движению и повышения устойчивости на курсе.

К настоящему моменту разработано много приборов для контроля устойчивости судна, однако нет приборов для определения местоположения центра масс судна.

В данной работе исследуются алгоритмы работы приборов определения координат центра масс судна, чувствительными элементами которых являются инерциальные измерительные модули устанавливаемые в нескольких точках корпуса судна. Каждый модуль состоит из инерциальных датчиков: трех датчиков угловой скорости и трех линейных акселерометров.

Особенностью предлагаемых приборов является использование нейронных сетей для оценивания координат расположения центра масс судна.

В работе рассмотрены принципы использования нейронных сетей для обработки информации от инерциальных датчиков, выполнен сравнительный анализ различных типов нейронных сетей, исследовано влияние количественных параметров нейросети и метода ее обучения на точность оценивания координат центра масс. Также рассмотрено влияние погрешностей инерциальных датчиков и способов их размещения на точность оценивания координат центра масс. Рассмотрены вопросы быстродействия и надежности системы, а так же стоимость.

Для проведения исследований использовались методы имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink. При этом использовалась разработанная на кафедре морского приборостроения НУК имитационная модель судна как объекта управления, позволяющая моделировать движение судна в условиях регулярного и нерегулярного волнения, с учетом изменения его динамических характеристик, в частности смещения центров величины и центра масс.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке нейросетевых систем обеспечения безопасности мореплавания.

Ключевые слова: нейронная сеть, центр масс, центр величины, метацентрическая высота, инерциальный модуль, модель судна, волнение.

УДК 629.5.05

ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ФОРМ И МЕТОДОВ СИГНАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БИНС

*Снигур А.К., Еременко А.П. Национальный университет кораблестроения
им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина*

В настоящее время при создании высокоточных, надежных, быстродействующих систем ориентации и навигации на основе использования бесплатформенного принципа построения особого внимания заслуживают теоретические подходы, позволяющие значительно повысить точность и надежность интегрированных систем. Одним из таких направлений является повышение точности форм и методов сигнального вида интеграции измерительных преобразователей [1].

Проведено исследование применяемых и выполнено теоретическое обоснование новых форм и методов сигнального вида интеграции измерителей одинакового или эквивалентного назначения, обеспечивающих повышение точности и новые возможности сигнальной и статистической диагностики интегрирующих измерителей. В частности рассмотрены:

- прямая и обратная формы сигнального вида интеграции вычислителя при косвенных измерениях;
- интеграция измерителей реализаций методов наблюдающего устройства с настраиваемыми моделями погрешностей;
- интеграция при однонаправленной коррекции измерителей;
- интеграция при взаимной коррекции измерителей;
- интеграция измерительных преобразователей методами осреднения:
 - а) среднеарифметическое и средневзвешенное осреднение;
 - б) оптимизация средневзвешенного осреднения;
 - в) метод осреднения погрешностей, не требующий вычисления средневзвешенного показания интегрирующих измерителей;
 - г) метод осреднения с разнесенных во времени моментов опроса интегрируемых в комплексе измерителей;
 - д) сочетание метода осреднения с методом наблюдения с помощью настраиваемых моделей погрешностей;
- метод «стяжки» или взаимной коррекции средств измерения с использованием отрицательных обратных связей:
 - а) взаимная стяжка двух измерителей;
 - б) повышение точности и диагностики при взаимной коррекции или «стяжке» измерителей;
- компенсация мультипликативных погрешностей средств измерения с применением наблюдающих устройств или компенсирующих обратных связей;
- методы определения статистических характеристик полезных и помеховых сигналов при интеграции измерителей одинакового назначения.

а) определение статических характеристик при среднеарифметическом и средневзвешенном осреднении показаний средств измерения;

б) определение статистических характеристик полезных и помеховых сигналов при интеграции одинаковых измерителей.

Результатом проведения исследований является:

- сформированы условия эквивалентности для достижения равной точности реализацией методов наблюдения и «стяжки» при взаимной коррекции измерителей, проведен сопоставительный анализ этих методов;

- получены обобщенные формульные соотношения, позволяющие оптимизировать методы осреднения по совокупности показаний измерителей одинакового назначения, при их интеграции;

- обоснован метод осреднения, не требующий вычисления средневзвешенного показания для повышения точности и метод осреднения с разнесением во времени моментов опроса интегрируемых измерителей;

- проанализированы возможности повышения точности и реализации процедуры диагностики интегрируемых измерителей методом стяжки, указаны пути оптимизации точности при совместном применении методов наблюдения осреднения [2];

- выдвинуто положение о целесообразности реализации в избыточных навигационных системах или комплексах принципа парности одинаковых навигационных измерителей, как это имеет место в навигационных системах объектов живой природы [3]. Как гипотезу о «причинах» эволюционного формирования таких объектов можно выдвинуть доказанное при проведении исследований положение о том, что уже минимальная избыточность, какая имеет место при комплексировании 2-х одинаковых измерителей, позволяет достаточно просто проанализировать статистические характеристики полезных и помеховых сигналов, что создает благоприятные предпосылки для оптимизации интеграции навигационных измерений [1,2,3].

Ключевые слова: интеграция, формы и методы, осреднение, стяжка, компенсация, статистические характеристики, диагностика, точность, надежность.

Литература

1. Снигур А.К. Интеграция чувствительных элементов, датчиков, приборов, систем и комплексов морских подвижных объектов. Термины, определения, Классификация. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. ПАЕТЗ-2006. – Миколаїв: НУК, 2006. – 244 с.
2. Снигур А.К., Снигур В.А. Оптимизация средневзвешенного осреднение при интеграции измерительных преобразователей. Міжнародна науково-технічна конференція “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ - 2006”: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет “ХАІ”, 2006. – 560 с.
3. Селезнев В.П., Селезнева Н.В., Навигационная бионика. – М.: Машиностроение, 1987. -256 с.