

**СЕКЦІЯ 1
ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 621.375

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК КОРИОЛИСОВА ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА**

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

Объектом исследований был кориолисов вибрационный гироскоп (КВГ), который представляет собой твердотельный датчик угловой скорости без вращающихся частей. КВГ используется в малогабаритных инерциальных навигационных системах, геодезии, инклинометрии, а также как первичный датчик вращающегося объекта.

Чувствительный элемент (ЧЭ) КВГ выполнен в виде металлической оболочки цилиндрической формы. На дне цилиндра, жестко заземленного в центре, расположена пьезокерамическая система позиционного возбуждения и съема информации. Резонирующий ЧЭ совершает колебания на второй моде цилиндрической оболочки. ЧЭ посредством резьбового соединения присоединен к крепежной ножке, установленной на основании, на которое, в свою очередь, крепится колпак прибора для обеспечения заданных условий герметичности. Подвод питающего напряжения к системе возбуждения осуществляется через гермовводы, вмонтированные в основание прибора. Т.о. КВГ конструктивно представляет собой многомассовую систему, имеющую ряд собственных частот.

Экспериментальные исследования проводились для определения собственных частот конструкции с целью дальнейшего их разнесения, а также для оценки влияния элементов КВГ на конструкционное демпфирование ЧЭ.

Возбуждение и съем информации проводились при помощи одноименных внутренних систем КВГ, (которые основаны на использовании прямого и обратного пьезоэффекта), расположенных непосредственно на резонаторе. В пределах диапазона изменения частоты при помощи генерирующего устройства происходило возбуждение элементов конструкции в силу их неидеальности и инерционности. Отклик конструкции поступал на осциллограф и фазометр, а затем на вольтметр.

В результате проведенных исследований получен спектр частот КВГ, а также амплитудные и фазочастотные характеристики ЧЭ, рассчитана добротность резонатора. Из полученных данных легко выделить собственные частоты ЧЭ, остальные частоты можно идентифицировать путем моделирования прибора в целом при помощи метода конечных элементов.

Ключевые слова: кориолисовый вибрационный гироскоп, метод конечных элементов, эксперимент.

УДК 621.375

ОБ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ КОРИОЛИСОВА ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА

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

При проектировании осциляторных гироскопов большое внимание уделяется виброзащите конструкции, т.е. разнесению собственных частот элементов конструкции и частоты рабочей моды колебаний чувствительного элемента.

Эту задачу целесообразно решать, используя численные методы исследований, поскольку использование аналитических методов позволяет только, с определенными допущениями, исследовать отдельные элементы конструкции, а не прибора в целом.

В данной работе для оценки достоверности разработанной модели проведен сопоставительный анализ экспериментальных данных и результатов моделирования взаимного влияния собственных колебаний элементов конструкции кориолисова вибрационного гироскопа (КВГ) на его виброизолирующие свойства, а также при воздействии на прибор внешних возмущений колебательного характера.

Объектом исследования был КВГ, конструкция которого показана на рис. 1. Чувствительный элемент (ЧЭ) – цилиндрический резонатор. Общее число основных сборочных единиц, которые были учтены при моделировании, составило пять деталей.



Рисунок 1

Для создания математической модели и дальнейших численных исследований применялись пакеты программ, реализующие метод конечных элементов (МКЭ). При этом были приняты фактические размеры элементов конструкции, т.е. геометрические размеры модели были получены путем обмера реальных деталей прибора.

В результате моделирования получены значения собственных частот основных мод колебаний элементов конструкции.

Для оценки достоверности математической модели полученные данные сравнивались с результатами экспериментальных исследований, проведенных на экспериментальном образце прибора.

При экспериментальных исследованиях по определению собственных частот конструкции использовалась собственная система возбуждения и съема информации КВГ, с помощью которой возбуждались колебания в диапазоне 0-16 кГц с последующей регистрацией резонансных частот.

В результате сопоставительного анализа расхождение результатов натурального и численного исследований не превышает 0,01%, что подтверждает адекватность разработанной модели.

Ключевые слова: кориолисовый вибрационный гироскоп, метод конечных элементов, моды колебаний.

УДК 531.383

ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ТЕОРІЇ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА

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

В уточненій постановці розглядається явище залежності частоти коливань середовища, сприйнятих приймачем, від частоти тих самих коливань випромінених джерелом для довільних швидкостей спостерігача і джерела відносно середовища. Показано, що довжини хвиль λ випромінених і λ_c сприйнятих коливань пов'язані одна з одною залежністю

$$\begin{aligned} & \gamma_c^2 \lambda_c^2 + 2\{r[1 + \beta_c \cos(\alpha + \delta)] - \lambda(1 - 2\beta_d \beta_c \cos \delta)\} \lambda_c + \\ & + \gamma_d^2 \lambda^2 - 2\lambda r(1 + \beta_d \cos \alpha) = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де α – кут між радіус-вектором \mathbf{r} джерела коливань відносно приймача (спостерігача); δ – кут між вектором \mathbf{V}_c швидкості спостерігача відносно середовища, в якому розповсюджується випромінювання, і вектором \mathbf{V} швидкості джерела відносно того ж середовища; $\beta_d = \frac{V}{c}$; $\beta_c = \frac{V_c}{c}$; $\gamma_d = \sqrt{1 - \beta_d^2}$;

$$\gamma_c = \sqrt{1 - \beta_c^2};$$

c – швидкість розповсюдження випромінювання у середовищі.

Відомі літературні джерела наводять таку загальну формулу для залежності частот ν_c сприйнятих і ν випромінених коливань (у прийнятих вище позначеннях):

$$\frac{\nu_c}{\nu} = \frac{1 + \beta_c \cos(\alpha + \delta)}{1 + \beta_d \cos \alpha}. \quad (2)$$

До того самого результату наводить і запропоноване співвідношення за умови, що довжина λ хвилі випромінювання є набагато меншою за поточну відстань r між джерелом і спостерігачем ($\lambda \ll r$). Якщо в (1) нехтувати членами, що містять у якості множників довжини хвиль λ і λ_c , у порівнянні з членами, що мають відповідний множник r , то цей вираз перетвориться до такого

$$2r[1 + \beta_c \cos(\alpha + \delta)] \lambda_c - 2\lambda r(1 + \beta_d \cos \alpha) = 0,$$

звідки й випливає відоме співвідношення. Але у загальному випадку співвідношення (2) не є слушним. Зокрема у відомій літературі стверджується про відсутність в акустиці так званого поперечного ефекту Доплера, тобто відмінності частот випроміненого і сприйнятого сигналів при ортогональності векторів \mathbf{r} і \mathbf{V} , що випливає з (2) при $\alpha = \pi/2$ і $\beta_c = 0$. Неважко впевнитися, що це не так, і у загальному випадку поперечний ефект Доплера присутній і в акустиці (а не тільки в оптиці). Дійсно, за тих самих умов вираз (1) набуває вигляду

$$\lambda_c^2 + 2\{r - \lambda\}\lambda_c + \gamma_d^2 \lambda^2 - 2\lambda r = 0,$$

з чого випливає $\lambda_c = \sqrt{r^2 + \beta_d^2 \lambda^2} - r + \lambda$, що визначає розбіжність між довжинами хвиль, а отже й між частотами випроміненого і сприйнятого сигналів.

Ключові слова: поперечний ефект Доплера, акустика, теорія.

УДК 531.383

АЛГОРИТМИ МЕТОДУ ПІКАРА ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ РІВНЯНЬ У КВАТЕРНІОНАХ

*Лазарев Ю.Ф., Бобровицька Я.Г., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Застосовано метод послідовних наближень Пікара для побудови алгоритмів чисельного інтегрування кінематичного рівняння у кватерніонах

$$\frac{d\Lambda(t)}{dt} = \frac{1}{2}\Lambda(t) \circ \omega(t),$$

де $\Lambda = \lambda_0 + \mathbf{i}\lambda_x + \mathbf{j}\lambda_y + \mathbf{k}\lambda_z$ – кватерніон повороту об’єкта, $\omega(t) = 0 + \mathbf{i}\omega_x(t) + \mathbf{j}\omega_y(t) + \mathbf{k}\omega_z(t)$ – вектор-кватерніон з проєкцій кутової швидкості об’єкта на осі, пов’язані з об’єктом, \circ – позначка кватерніонного множення. Як зазвичай, чисельний розв’язок цього диференційного рівняння відшукується у вигляді

$$\Lambda_{n+1} = \Lambda_n \circ N_{n+1},$$

де Λ_n – значення кватерніона повороту на n -му кроці інтегрування; Λ_{n+1} – шукане значення цього кватерніона на наступному $n + 1$ -му кроці інтегрування.

Величина кватерніону N_{n+1} визначається за методом Пікара як функція значень вектора кутової швидкості ω на кількох попередніх кроках, а також на $n + 1$ -му кроці інтегрування.

Розроблені алгоритми обчислення кватерніона N_{n+1} з точністю до величини другого, третього і четвертого порядку мализни відносно малого кроку h

інтегрування. Наприклад, алгоритм другого порядку одержаний такий

$$N_{n+1} = 1 + \frac{1}{2} \omega_o \cdot h + \frac{1}{2} \left(\varepsilon - \frac{1}{4} |\omega_o|^2 \right) h^2$$

де припущено, що у межах $n+1$ -го кроку інтегрування вектор ω апроксимується залежністю $\omega = \omega_o + 2\varepsilon \cdot \tau$ від часу $0 \leq \tau \leq h$.

Одержані алгоритми конкретизовані для двох випадків: а) коли на кожному кроці безпосередньо вимірюються проекції кутових швидкостей (тобто вектори ω_n); б) коли вимірюються прирости квазікоординат (тобто інтеграли від цих проекцій у межах одного кроку інтегрування)

$$\Delta \Theta_n = \int_{t_n-h}^{t_n} \omega(\xi) d\xi$$

Одержані алгоритми суттєво відрізняються від відомих з літератури [Бранец В.Н., Шмыглевский И. П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. – М.: Наука, 1973. – 150 с.]. Наприклад, алгоритм другого порядку у квазікоординатах має вигляд:

$$N_{n+1} = 1 + \frac{1}{2} \Delta \Theta_1 - \frac{1}{32} |(\Delta \Theta_1 + \Delta \Theta_o)|^2$$

Проведено моделювання на ЕОМ похибок чисельного інтегрування за одержаними алгоритмами і за відомими алгоритмами. Модельні експерименти показали слушність розроблених алгоритмів і, отже, правильність застосованої методики побудови алгоритмів.

Ключові слова: кватерніон, кінематичні рівняння, метод Пікара, алгоритми.

УДК 629.1.05

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ В УСЛОВИЯХ РЫСКАЮЩЕГО ОСНОВАНИЯ

¹⁾Мелешко В.В., ²⁾Габбасов С.М., ²⁾Манохин В.И., ²⁾Скуднева О.В., ¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; ²⁾«Раменское приборостроительное конструкторское бюро», г. Раменское, Россия

Аналитическое гироскопирование состоит в определении азимутального угла платформы по сигналам каналов горизонтальной интегрально-позиционной коррекции. 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. После обработки сигналов двух положений получают искомый азимутальный угол, а также значения систематических составляющих

угловых скоростей ухода гироскопов горизонтальных каналов. Уравнения движения платформы могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned}\dot{\alpha}_x &= -V_y / R + u_\zeta \alpha_y - u_x - u_y \alpha_z, \\ \dot{\alpha}_y &= V_x / R + u_\zeta \alpha_x - u_y + u_x \alpha_z, \\ \dot{\alpha}_z &= -u_x \alpha_y + u_y \alpha_x + \varepsilon_z, \\ \dot{V}_x &= -k_u (g_0 - V_E u_N) (\alpha_y + \varepsilon_a) - k_n \dot{\alpha}_y, \\ \dot{V}_y &= k_u (g_0 - V_E u_N) (\alpha_x + \varepsilon_a) + k_n \dot{\alpha}_x,\end{aligned}$$

где $u_x = -u_N \sin \chi + \varepsilon_y$, $u_y = u_N \cos \chi + \varepsilon_x$;

k_u, k_n – коэффициенты передачи интегрального и позиционного контуров соответственно;

$\varepsilon_i = \bar{\varepsilon}_i + \tilde{\varepsilon}_i, i = x, y, z$ – угловые скорости ухода гироскопов, состоящие из систематической и случайной составляющих;

$\chi = \bar{\chi} + \tilde{\chi}$ – азимутальный угол платформы, состоящий из систематической и случайной составляющих, которая может быть вызвана ветровыми возмущениями или снаряжательно-заправочными работами;

α_i – ошибки отклонения платформы от плоскости горизонта, заданного азимутального положения,

α_i, ε_a – систематическая ошибка акселерометра.

Систематическая составляющая угла курса принимает значения $\bar{\psi}_1 = 180^\circ$ в первом положении платформы и $\bar{\psi}_2 = 0^\circ$ во втором (конечном) положении.

Азимутальный угол определяют по выходным сигналам, соответствующим составляющим абсолютной линейной скорости объекта из-за вращения земли $V_E = R_E u \cos \varphi$: $\chi_{np} = \arctg(V_y / V_x)$. Ошибка определения азимутального угла $\Delta\chi = \chi_{np} - \bar{\chi}$.

Оценку степени сглаживания колебаний по курсу можно в первом приближении оценить по первому и пятому уравнениям при пренебрежении перекрестными связями:

$$\ddot{\alpha}_x + k_n \dot{\alpha}_x + k_u (g_0 - V_E u_N) \alpha_x \approx -u_N \cos(\bar{\chi}) \chi_m \omega \cos \omega t$$

При реальных значениях коэффициентов передачи для $\omega \approx 1 \text{ с}^{-1}$ расчетный коэффициент сглаживания составляет величину порядка 10^4 . Как показывает правая часть уравнения, влияние колебаний по курсу зависит от азимутального угла платформы. Моделирование с учетом перекрестных связей показывает сглаживание азимутальных колебаний в 30 раз. Дополнительное сглаживание погрешностей достигается за счет осреднения показаний.

Уход азимутального гироскопа приводит к нарастанию погрешности гирокомпасирования на величину ухода. Необходима калибровка и компенсация ухода азимутального гироскопа или удерживание платформы в азимуте по датчику угла гироскопического курса.

Ошибка задания азимутального угла платформы приводит к ошибке гирокомпасирования, равной половине ошибки задания.

Ключевые слова: аналитическое гирокомпасирование, инерциальная навигационная система.

УДК 624.131.1

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗВУКОВОЙ КАРТЫ КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА В ЦИФРОВОЙ КОД

*Аврутова И.В., Жуковский Ю.Г., Тяпченко А.Н., Национальный технический университет
Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Современный уровень виброизмерений немислим без использования вычислительной техники, которая осуществляет накопление, преобразование и представление измеренной информации. Для ввода аналоговых сигналов с датчика в компьютер в большинстве случаев используются платы аналого-цифрового преобразования (АЦП) для внутреннего или внешнего подключения. При измерениях в стационарных условиях применение подобных АЦП совместно с ПК вполне закономерно. Однако при проведении измерений в полевых условиях и при отсутствии стационарных источников питания использование измерительной системы с ПК становится проблематичным.

В таких случаях требуется мобильная, автономная измерительная система, обладающая теми же функциональными возможностями, что и стационарная, но имеющая в своем составе минимальное количество блоков и модулей. Такая система построена с использованием ноутбука и автономного на аккумуляторах источника питания для измерительных датчиков. Подключить плату АЦП в ноутбук невозможно, а внешний АЦП – это всегда дополнительный блок и увеличение стоимости системы в целом. Альтернативой применения отдельного АЦП в мобильной виброизмерительной аппаратуре предлагается использовать 24-разрядный АЦП встроенной звуковой карты ноутбука с максимальной частотой дискретизации 100 кГц. Для осуществления такой возможности необходимо было решить две задачи: предусмотреть определение АЧХ звуковой карты в области низких частот от 0,1 до 50 Гц, т.е. там, где звуковая карта имеет «завал», а также компенсировать этот «завал» до реального уровня измеряемого сигнала.

Для решения первой задачи с генератора сигналов специальной формы Гб-26 подавался тестовый сигнал на линейный вход звуковой карты Avance AC'97 Audio и производилась его запись с помощью пакета Simulink системы MatLab 6.5. Параметры тестового сигнала изменялись от 0,1 до 50 Гц и по амплитуде в диапазоне от 0,002 В до 0,2 В. На основании измерений был получен осредненный график АЧХ звуковой карты на требуемых частотах, имеющий вид плавной экспоненты, что говорит о «завале» характеристики карты, т.е. о заниженном измерении амплитуды тестового сигнала. Также с помощью

программы Sound Card Analyzer v.2.0 была построена АЧХ, которая практически полностью повторяет экспериментально полученный график.

Для решения второй задачи с помощью интерфейса Filter Shaping GUI панели Toolboxes был построен график коррекции (на основании полученной выше АЧХ), позволяющий увеличить измеренные амплитуды в заданном диапазоне частот до величины реального входящего значения напряжения. Проведенные эксперименты и сравнительные испытания совместно с модулем внешнего АЦП Е-140 показали, что интерфейс успешно корректирует значения амплитуды сигнала (относительная погрешность составляет порядка 1% по сравнению с задающим сигналом).

Преимуществом применения звуковой карты компьютера в качестве преобразователя аналогового сигнала в цифровой код является значительное снижение затрат при построении виброизмерительной аппаратуры и уменьшение ее габаритов. Звуковая карта компьютера позволяет преобразовывать как один, так и два независимых сигнала (в режиме «стерео»), а при применении мультиплексора число подключаемых датчиков может быть значительно увеличено.

Ключевые слова: звуковая карта, измерения, АЧХ, мобильная виброизмерительная аппаратура.

УДК 621.375

ДИНАМИКА ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ ГИРОСКОПОВ

Сарапулов С.А., СПЕЦТЕХМАШ (STM Co.); Академия технологических наук Украины (АНУ), г. Киев, Украина

За 25 лет развития Твёрдотельной гироскопии были созданы и внедрены уникальные сверхточные гироскопы с ресурсом непрерывной работы на орбите 10...15 лет. Переход от резонаторов из особо чистого кварцевого стекла к непосредственному выращиванию монокристаллических резонаторов (STM-технологии) без какой-либо грубой механической обработки позволит повысить ещё на порядок добротность резонаторов, а также существенно снизить стоимость этих приборов.

В стадии опытных образцов находятся новые гироскопы в микроисполнении (~1.5мм) с кольцевым резонатором (КРГ) и упругим креплением, изготовленные глубоким трёхмерным “сухим” травлением моно- и поликремния. Активно ведутся также поиски схем минигироскопов, выдерживающих перегрузки свыше 10000 g (при технологии мелко- и средне-серийного производства), в т.ч. датчиков, основанных на новом физическом эффекте вращения плоскости поляризации сдвигового ультразвука в твёрдых телах.

В микрогироскопах пока только планируется использовать уникальные возможности сочетания различных динамических режимов в одном приборе,

хотя аналогии и техника их практического осуществления уже очевидны. Выпускаемый HRG130 и разрабатываемый CRG-1 имеют не только режим датчика угловой скорости (ДУС) и интегрирующего гироскопа (ИГ) в одном приборе, но также и новый для гироскопов динамический режим отслеживающего ДУС со “скольжением” волны в полном диапазоне углов поворота основания.

Ранний эмпирический поиск законов управления для резонаторных гироскопов в США отражён в патентах Линча, Лопера и других исследователей. Методы теории динамических систем с двумя рабочими степенями свободы, аналогия с маятником Фуко, а также анализ картины фазовых кривых позволили получить не только качественное описание динамики, но и найти явный вид “естественных” законов управления. При этом были использованы оригинальные методы, разработанные независимо в 80-х гг. разными исследователями Украины, России и США: подход автора (сфера Пуанкаре и параметры Стокса в сочетании с методом многих масштабов), подход Журавлёва и Шаталова (четырёхмерный конус и метод групп Ли), а также подход Линча (матрицы Паули и метод усреднения).

В результате этих работ были выявлены и детально исследованы физические механизмы возникновения различных угловых гармоник уходов при изменении ориентации волны, а также обнаружены параметрические пороги при её страгивании. На дальнейших этапах исследований выявлены малые параметры при старших производных (сингулярные возмущения), присущие математическим моделям приборов этого класса, и обусловленные ими временные аналоги погранслоёв при нестационарных и переходных режимах. Также изучаются причины возникновения и методы управления псевдослучайными уходами детерминированной природы.

Микромеханика твёрдотельных гироскопов внесла новые акценты и в классическую термодинамику Гиббса и физику поверхности. В докладе даны новые постановки задач типа Ландау-Вульфа о равновесной форме роста кристаллов-резонаторов с учётом поверхностных эффектов, как на гранях кристалла, так и рёберных тяжений, с которыми связана одна из причин дрейфа КРГ.

Ключевые слова: микромеханика, твёрдотельный гироскоп, кристалл-резонатор.

УДК 531.383: 624.131

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

*Аврутова И.В., Бублик Г.Ф., Жуковский Ю.Г., Национальный технический университет
Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Современный уровень развития гироскопических приборов и систем

умовно можна розділити на два напрямки. Перше – подальше удосконалення традиційних електромеханічних пристроїв за рахунок нових технологій їх виробництва і методів обробки одержаної інформації, і друге – напрямлене на мінімізацію чутливих елементів шляхом застосування нанотехнологій, включаючи в себе виробничо-технологічні процеси, матеріали і структурні схеми.

Ініціюючим фактором у розвитку мікросистемної техніки став прогрес у області мікроелектроніки. Інтеграція на кристалі досягнень у електроніці, механіці, інформатиці і вимірній техніці дозволила створити новий напрям у розвитку гіроскопічних пристроїв.

У нинішній час мікромеханічні гіроскопи (ММГ), акселерометри і створені на їх основі системи орієнтації і навігації знаходять широке застосування у всіх областях техніки. Їх характеристики удосконалюються рік за роком, обсяги виробництва досягли десятків мільйонів. Таким чином, можна зазначити, що цей напрям розвивається дуже інтенсивно.

Постійне удосконалення мікромеханічних пристроїв тісно пов'язано з рівнем технічної підготовки робочих місць по їх виготовленню, налагодці і випробуванню. Різноманітні фізичні явища, такі, наприклад, як теплові, механічні, магнітні, електричні і ряд інших у багатьох визначають технічні характеристики мікромеханічних пристроїв при їх виробництві, зберіганні і застосуванні.

До одного з важливих збурюючих факторів, що надають сильне вплив при виготовленні, можна віднести механічні збурення у вигляді вібрацій і ударів. Це пояснюється тим, що при використанні нанотехнологій розміри окремих елементів пристроїв досягають 10...20 нм, а відстані між ними – 1 нм. Тому до робочих місць, де вони виготовляються і проходять випробування, пред'являються дуже суворі вимоги. Так, наприклад, при виробництві мікросхем вібропереміщення у діапазоні частот 1...10 Гц не повинні перевищувати 2...5 мкм.

Розв'язання проблеми віброізоляції для вказаного діапазону частот – не проста задача і ускладнюється вона ще і тим, що власні частоти більшості будівель і споруд також знаходяться у цих межах.

Відзначимо ще один факт, що у умовах сучасного міста постійно існують мікросейсмічні збурення. Їх походження пов'язано з рухом підземного і наземного транспорту, діяльністю промислових підприємств, поривами вітру, переміщенням великої кількості людей і іншими факторами. Мікросейсми мають спектр частот переважно у діапазоні 1...10 Гц, що пояснюється властивостями джерел коливань і фільтруючими властивостями земної кори. Інтенсивність цих коливань у звичайних міських умовах має величину не менше 10^{-2} мм/сек².

Отже, сучасний рівень і подальше розвиток мікромеханічних пристроїв і систем у багатьох залежить від рівня підготовки виробництва, а віброізоляція і вібродіагностика робочих місць є однією з його

составляющих. В условиях современного города создать необходимые условия виброзащиты на предприятиях с новыми перспективными технологиями чрезвычайно сложно, поэтому размещать их следует вне городской черты.

Ключевые слова: микромеханические приборы, микросейсмические возмущения.

УДК 629.7.05

КАЛИБРОВКА БЛОКА ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

Под калибровкой понимают определение характеристик инерциальных чувствительных элементов (ЧЭ) в результате специально организованного процесса измерений выходных параметров и их последующей обработки. Эта процедура требует значительных затрат времени. Существует множество методов калибровки. Последовательный метод наименьших квадратов (МНК) даёт возможность достигать заданной точности калибровки за минимальное число измерений, в то время как в других методах нельзя предугадать, сколько измерений потребуется для достижения требуемой точности.

Обработка данных, полученных в результате измерений, состоит в определении коэффициентов модели выходных сигналов ЧЭ.

В модели выходных сигналов учтем перекосы установки акселерометров и гироскопов, чувствительность к воздействиям по перекрестным осям, смещения нулей и величину масштабных коэффициентов. В смещения нулей и масштабные коэффициенты входят составляющие тракта аналого-цифрового преобразователя (АЦП), необходимого для ввода аналоговых сигналов компьютер.

Выходной сигнал акселерометра и датчика угловой скорости (ДУС) для одного канала, представим в виде

$$U_x^{\text{аксел.}} = k_1 (a_{11} A_x + a'_{12} A_y + a'_{13} A_z + A_{0x}), \quad (1)$$

$$U_x^{\text{ДУС}} = r_1 (d_{11} \omega_y - d_{12} \omega_z + d_{13} \omega_x + U_{см}). \quad (2)$$

Здесь k_1, r_1 – масштабные коэффициенты, a_{11} – направляющий косинус между измерительной осью акселерометра и строительной осью блока ЧЭ; a'_{12}, a'_{13} – коэффициенты учета несовпадения осей и перекрестной чувствительности; A_{01} – смещение нуля акселерометра и АЦП; A_x, A_y, A_z – задаваемые кажущиеся ускорения; d_{11}, d_{12}, d_{13} – направляющие косинусы между измерительной осью ДУС и строительными осями блока ЧЭ; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – задаваемые угловые скорости; $U_{см}$ – смещение нуля ДУС и АЦП.

Аналогично записываются сигналы остальных акселерометров и ДУСов.

Для определения коэффициентов необходимо провести количество измерений не меньше числа неизвестных. Увеличение количества измерений увеличивает точность калибровки.

Составленные алгоритмы и программы калибровки дают возможность оптимизировать число испытаний и уменьшить время калибровки.

Ключевые слова: калибровка, инерциальный чувствительный элемент, последовательный метод наименьших квадратов.

УДК 62.502

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ-РОБАСТНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ С ГИБКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПО H_2 -КРИТЕРИЮ

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

Необходимость обеспечения робастности системы управления космическим аппаратом с гибкими элементами конструкции очевидна в силу следующих причин. Во-первых, вследствие особенностей эксплуатации космического аппарата параметры его модели будут изменяться со временем; во-вторых, космический аппарат с гибкими элементами конструкции является распределенной системой, которой нужно управлять конечномерным регулятором, и поэтому необходимо учитывать влияние отброшенных высокочастотных мод колебаний гибких элементов; в-третьих, прецизионное управление космическим аппаратом невозможно без достаточно точной модели действующих на него возмущений, а получение такой модели является самостоятельной, очень сложной задачей.

В последнее время к решению ряда инженерных задач управления успешно была применена процедура комплексного μ -синтеза. Однако наличие вещественной параметрической неопределенности в описании объекта управления сильно усложняет решаемую задачу, что проявляется, в частности, в значительном консерватизме, получаемых на основе μ -синтеза, результатов. Это обстоятельство заставляет разрабатывать параметрически-робастные регуляторы для управления космическими аппаратами с гибкими элементами конструкции.

В докладе рассматривается задача синтеза параметрически-робастных H_2 – регуляторов для управления космическими аппаратами с гибкими элементами конструкции. Для улучшения качества переходных процессов в замкнутой системе в докладе предложен способ синтеза регуляторов с формированием спектра замкнутой системы управления. Решения этой задачи удалось достичь применением подхода, основанного на линейных матричных неравенствах. Моделированием замкнутой системы управления космическим аппаратом при полиномиальном представлении его модели в докладе показывается высокая

эффективность предложенного способа синтеза параметрически-робастных систем управления. Моделирование проводилось в среде MathLab.

Ключевые слова: космический аппарат с гибкими элементами конструкции, параметрически-робастные H_2 -регуляторы, линейные матричные неравенства.

УДК 528.526.6

НАЗЕМНЫЙ МАЯТНИКОВЫЙ ГИРОКОМПАС НА ОГРАНИЧЕННО ВОЗМУЩАЕМОМ ОСНОВАНИИ

Мураховский С.А., Чуракова О.Д., Шостак А.М., Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина

Ориентирование, выполняемое с помощью наземных гироскопов, является быстрым и удобным, а в некоторых случаях и единственным способом автономного ориентирования систем.

Применяемые для этих задач точные наземные гироскопы, как правило, устанавливаются на неподвижном относительно Земли основании.

В настоящее время представляет интерес задача азимутального ориентирования подвижных объектов на остановках. При размещении наземного гироскопа непосредственно на таком объекте определение азимута при остановке происходит при действии возмущений, обусловленных конечной жесткостью подвеса, ветровыми нагрузками, перемещениями экипажа. Наиболее значительное влияние на точность прибора оказывают линейные низкочастотные возмущения.

Погрешность, возникающая вследствие действия таких возмущений, пропорциональна углу поворота γ чувствительного элемента в негиростабилизированной плоскости. Для уменьшения влияния возмущений на чувствительный элемент гироскопа предлагается ввести дополнительный контур управления по углу γ . Предлагается построить управление по углу γ без существенной доработки прибора, а именно с использованием автоколлиматора и датчика момента контура управления ЧЭ в азимуте. Рассмотрены способы построения такой системы управления по γ .

Как показывает моделирование, такое управление позволяет уменьшить погрешности гироскопа за счет демпфирования колебаний ЧЭ в негиростабилизированной плоскости. При воздействии возмущений основания с частотой 2 Гц и амплитудой 10^{-4} g на чувствительный элемент гироскопа без системы управления по γ , амплитуда колебаний в негиростабилизированной плоскости составляет 20 угловых секунд. При введении дополнительной системы управления, амплитуда таких колебаний уменьшается до 6 секунд. Таким образом, можно обеспечить работоспособность прибора при воздействии на него поступательных перемещений основания.

Ключевые слова: наземный маятниковый гироскоп, возмущаемое основание, погрешность.

УДК 531.383

ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОРЕКТОВАНОГО ГІРОКОМПАСА ЯК ДВОРЕЖИМНОГО ПРИЛАДУ

Рижков Л.М., Іванов С.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Основною особливістю сучасних коректованих гірокомпасів (КГ) є їх можливість функціонування в двох режимах: гірокомпаса і гіроазимута. Це забезпечується наявністю контуру керування: більш конкретно – можливістю відключення сигналу індикатора горизонту при певних режимах руху об’єкту. Якщо в перших КГ це робилося “вручну”, то в сучасних моделях це робиться засобами автоматики. Але при цьому виникає багато теоретичних і практичних питань, пов’язаних з алгоритмом переключення гірокомпасу в режим гіроазимуту і поверненням його потім в основний режим експлуатації.

В доповіді розглядаються два основних шляхи забезпечення дворезимності функціонування приладу.

Перший – це відключення сигналу індикатора горизонту при певних режимах руху об’єкту. Такий спосіб відомий досить давно і використовується в авіаційних приладах по сигналам інших приладів, наприклад, датчиків кутової швидкості. В доповіді розглядається алгоритм відключення, в якому зовнішні прилади не використовуються, а саме: використовується тільки інформація з індикатора горизонту. Це вимагає розробки спеціальних алгоритмів реалізації цього методу, тому що є небезпека того, що після переходу КГ в режим гіроазимуту він залишиться в цьому режимі після завершення маневру об’єкту.

Іншим підходом є використання спостерігаючих пристроїв для вирішення цієї проблеми. Це досягається використанням спостерігаючих пристроїв таким чином, що має місце умовне переключення приладу в режим гіроазимуту, хоча прилад завжди функціонує в режимі гірокомпасу. При цьому зменшуються похибки показань і виключається можливість фізичного постійного знаходження приладу в режимі гіроазимуту.

Проведені теоретичні дослідження, моделювання та результати експлуатації серійних КГ свідчать про ефективність запропонованих алгоритмів забезпечення функціонування КГ як дворезимного приладу.

Ключові слова: коректований гірокомпас, гіроазимут, спостерігаючий пристрій, індикатор горизонту.

УДК 534.1:62.752

АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ДИНАМІЧНИХ ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ ІНДИКАТОРНОГО ТИПУ

Рижков Л.М., Національний технічний університет України “Київський політехнічний

інститут”, м. Київ, Україна

Використання динамічних гасників коливань (ДГК) є одним з найбільш дієвих методів зменшення впливу вібрацій на функціонування приладів. Для класичних ДГК характерним є безпосередній зв'язок між приладом та інерційною масою гасника. Саме цей факт є одним з основних обмежень на використання ДГК внаслідок того, що такий зв'язок часто або неможливий, або небажаний з конструктивних міркувань.

В ДГК індикаторного типу такий безпосередній зв'язок відсутній – він реалізований за допомогою використання моментних пристроїв, на які подаються відповідні сигнали керування, тобто в них реалізований метод формування сил (моментів), аналогічний тому, який має місце в індикаторних гіростабілізаторах.

Найбільш суттєвими ознаками таких гасників є:

- значення величин інерційних параметрів рухомої маси гасника несуттєве, що робить можливим використання міні- і навіть мікрогасників;
- можливим є прикладення до приладу і до гасника різних за модулем сил (моментів), тобто не накладається обмеження у вигляді третього закону Ньютона;
- можливість вибору необхідних законів формування сил (моментів), причому, у разі доцільності, різних для приладу та для гасника.

Отримані математичні залежності узагальнюють відомі співвідношення теорії ДГК. До таких залежностей в першу чергу відносяться вирази для частоти настроювання гасника та для оцінки ефективності його використання. Показано, що в ДГК індикаторного типу точність настроювання на основі оптимального вибору параметрів вища, ніж в звичайних ДГК.

Виконано аналіз ефективності ДГК індикаторного типу для гасіння коливань динамічно настроюваних гіроскопів, де використання звичайних ДГК практично неможливе. Показана висока ефективність гасників, а також розглянуто деякі найбільш важливі інструментальні похибки гасників і їх вплив на ефективність гасіння.

Ключові слова: динамічний гасник коливань, аналіз, синтез, індикаторний тип.

УДК 528.526.6

ВЫСОКОТОЧНЫЙ НАЗЕМНЫЙ ГИРОКОМПАС

Боярчук А.А., Дмитриев А.Ю., Шостак А.М., Казенное предприятие "Центральное конструкторское бюро "Арсенал", г. Киев, Украина

В докладе представлены результаты проектирования прецизионного гироскопа разработки КП "ЦКБ"Арсенал", сочетающего в себе высокую точность, малые вес и габариты, низкую потребляемую мощность.

Основными конструктивно-техническими особенностями, позволившими повысить точность и существенно уменьшить весогабаритные характеристики, являются использование компенсационного метода измерения азимута и переход от высокоточной круговой углоизмерительной системы, построенной на базе индуктосина, к углоизмерительной системе на базе эталонированной многогранной призмы.

Повышение точности прибора достигается за счет более высокой точности и стабильности углоизмерительной системы на базе эталонированной многогранной призмы по сравнению с углоизмерительной системой на базе индуктосина.

Применение многогранной призмы в качестве углоизмерительной системы и компенсационного метода измерения азимута, позволило отказаться от прецизионной следящей системы и значительно снизило требования к приводу и осевой системе. Кроме уменьшения весогабаритных параметров прибора, это значительно упрощает его сборку, юстировку, эталонирование, а, следовательно, существенно снижает стоимость его изготовления.

Ключевые слова: высокоточный наземный гирокомпас, компенсационный метод измерения, эталонированная многогранная призма

УДК629.1.054

О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

*Голуб А.Г., Гордиенко В.И., Бурак А.В., Зборовский Е.А., НПК «Фотоприбор».
г. Черкассы, Украина*

Практически для каждого оптико-электронного прибора (ОЭП) требуется несколько автоматизированных приводов. Основными из них могут быть:

- моментные приводы гиросtabilизированной платформы;
- привод призмы компенсации разворота изображения визирного канала;
- привод разворота телевизионной камеры;
- привод поворота головки или колпака стабилизированной головки;
- привод юстировки каналов видения и привода юстировки лазерных каналов;
- привод пластин пеленгатора.

При проектировании автоматизированных приводов основной задачей является обеспечение высокой точности, устойчивости и стабильности работы приводов при изменении температуры окружающей среды от минус 50 °С до 50 °С.

В докладе рассмотрены вопросы разработки и исследования одного из высокоточных приводов с максимально допустимой погрешностью менее 1 угл.мин. Проведены анализ требований по энергетическим возможностям и

выбор исполнительных элементов, работающих в режиме близких к линейному.

В следящую систему привода, имеющей ЛАЧХ типа 1-3-1, являющейся условно устойчивой, т.е. склонной к автоколебаниям при скачкообразных входных воздействиях, превышающих величину линейной зоны привода, введены устройства анализатора ошибки и коммутатор коррекции, которые при возникновении ошибки в системе более 10 угл.мин. выдают команду на переключение структуры и система становится безусловно устойчивой с ЛАЧХ типа 1-2-1.

Экспериментальные исследования привода показали, что система достаточно стабильна при изменении условий окружающей среды, точность и устойчивость системы изменяется в диапазоне не более 20 %.

Подтверждены возможность синтеза условно-устойчивых систем и их надежность работы при различных температурах окружающей среды и задающих режимах при условии введения в систему анализатора ошибки и коммутатора коррекции.

Предложенная методика обеспечения относительно высоких характеристик привода реализована на ряде ОЭП.

Ключевые слова: следящая система, привод, гиросtabilизатор.

УДК 629.7.052

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ И УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОТЕХНОЛОГИЙ

Снигур А.К., Еременко А.П., Национальный университет кораблестроения, г. Николаев, Украина

Сигнал датчика представляется многомерным вектором, компоненты которого являются различными характеристиками измеряемого параметра, влияющими на измеряемую величину. На основании информации, полученной при исследованиях датчика и поступающей в процессе измерения, определяется действительное значение измеряемой величины. Нейроконтроллер управляет состоянием датчика в зависимости от условий работы чувствительного элемента.

Количество входных элементов искусственной нейронной сети соответствует элементам вектора признаков измеряемой величины (их должно быть как можно больше). Выходной процесс задается числом состояний, которые необходимо определить.

Состояния можно кодировать, например, кодом "один из N", образуя желаемый целевой вектор. Обучение нейронной сети представляет собой процедуру настройки весовых коэффициентов.

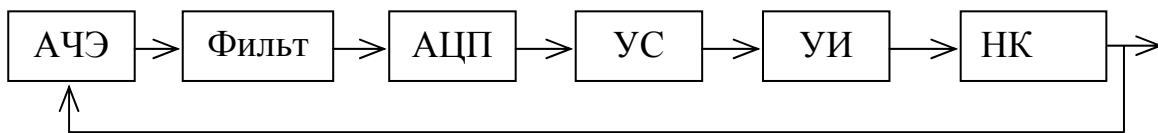
Достоинством данной системы является то, что после реализации путем последовательного компьютерного моделирования на ПЭВМ или на

специальном параллельном вычислителе эта система может быть очень легко обучена для удовлетворения предъявленным требованиям.

Существуют разнообразные сетевые модели и структуры, различающиеся по своему строению и по алгоритмам обучения. При выборе архитектуры сети возможно опробовать несколько конфигураций с различным количеством элементов. Основным показателем при этом является объем обучающего множества и обобщающая способность сети.

Выводы. Для построения системы необходимо иметь достоверные данные. Никакой из методов построения нейросети не даст нужного качества, если имеющийся набор параметров не будет достаточно полным и представительным для той задачи, с которой придется работать в системе.

Может быть реализована следующая последовательность обработки:



- АЧЭ – акустический чувствительный элемент,
- Фильтр – выделяет требуемую частоту сигнала
- УС – устройство сегментации, разбивающее оцифрованный сигнал на серии равной длины,
- УИ – устройство интерполяции, интерполирующее каждую серию,
- НК – нейроконтроллер

Ключевые слова: нейросеть, нейроконтроллер, акустический датчик.

УДК 621.39.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПО МЕТОДУ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

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

В настоящее время для контроля технического состояния бортовых машин и механизмов широкое распространение получили комплексирование системы диагностики, базирующиеся на различных физических принципах получения диагностической информации. В тоже время актуальной остается проблема мониторинга появления и развития дефектов, а также прогноза технического состояния элементов конструкций.

В этом направлении большие возможности имеют виброакустические методы диагностики, а именно метод свободных колебаний (МСК), состоящий в возбуждении свободно затухающих упругих колебаний в объекте диагностики (ОД) и дальнейшей их обработке. Основной особенностью МСК является использования в качестве источника информации динамических

параметров технического состояния исследуемого объекта, а также разнообразие и информативность диагностических признаков.

Диагностическая информация представляется в виде вектора, составляющие которого представляют собой совокупность отношений спектральных амплитуд основной гармоники к высшим, и коэффициента демпфирования основной гармоники, полученного по методу Прони. Данный диагностический вектор чувствителен к появлению и изменению поверхностных дефектов в элементах конструкции, модель которых представляется в виде колебательной системы с одной степенью свободы.

Для подтверждения возможности мониторинга состояния объектов были проведены экспериментальные исследования. В качестве элементов конструкций использовались образцы, представляющие собой колебательную систему в виде консольно закрепленного стержня. На образцы наносились дефекты в виде поверхностной трещины и возбуждались свободно затухающие колебания. Основная и высшая гармоники излучаемых колебаний находились в диапазоне от 0 – 25 кГц, что позволило измерить их с помощью микрофона и записать. На основании разработанных алгоритмов оценивания посредством обработки составляющих диагностического вектора были получены оценки дефектов, которые наносились на образцы. Дальнейший анализ оценок позволил исследовать их качество и подтвердить возможность использования МСК и методики оценивания малых усталостных трещин для мониторинга технического состояния элементов конструкций.

Ключевые слова: виброакустическая диагностика, метод свободных колебаний, мониторинг, дефекты, диагностические признаки.

УДК 621.375

ОДНООСНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР

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

В работе рассматриваются вопросы проектирования малогабаритного вибрационного одноосного балочного акселерометра. Проведен расчет собственных частот чувствительного элемента. Рассмотрена и обоснована схема дифференциального акселерометра, обеспечивающего высокую линейность выходной характеристики прибора. Проведены расчеты чувствительности к действию ускорения и представлены графически зависимости от длины балки. Приведен вариант конструкции акселерометра с двумя балками и пробной массой, при этом материалом балки является высокочастотный сплав 36 НХТЮ, обеспечивающий достаточно высокую добротность балки, что гарантирует также и высокую чувствительность акселерометра.

В качестве электродов возбуждающих колебания балки предлагается использовать пьезокерамику типа ЦТС-19, наклеенную на одну из граней балок. Расчеты показывают, что чувствительность акселерометра на уровне 10^2 - 10^3 g является достижимой.

Данная конструкция легко расширяется до трехосного акселерометра.

Существует принципиальная возможность реализовать в этой же конструкции также и вибратиоонный гироскоп.

Ключевые слова: вибратиоонный акселерометр, пьезокерамический акселерометр.

УДК 629.7.054

ПОХИБКИ ПОПЛАВКОВОГО ГІРОСКОПА ВНАСЛІДОК ДИФРАКЦІЇ ПРОНИКАЮЧОГО АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*Карачун В.В., Мельник В.Н., Саверченко В.Г., Баранова І.Г., Національний технічний
університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Сучасні регіональні війни та конфлікти, будучи неядерними, використовують досить потужні засоби ведення бойових дій. До них можна віднести стратегічну бомбардувальну авіацію (СБА), тактичну і палубну авіацію (ТПА), авіацію спеціального призначення, авіаносці, а також носії крилатих ракет морського базування – атомні підводні човни та надводні кораблі.

Загальна потужність двигунів стратегічної бомбардувальної авіації (СБА типу В-2А, В-52Н, В-1В) становить 10...40 МВт. При цьому двигунами інжектуються біля 13...40 Т продуктів згорання палива. В акустичні хвилі трансформується 10^{-4} потужності реактивних двигунів. Для одного літака СБА чи ТПА вона складає 1...4 та 0,8...1,6 кВт відповідно.

Частотний спектр акустичного випромінювання реактивних двигунів досить широкий. Спектральна щільність випромінювання сягає максимуму за частоти f_{\max} , котра залежить від діаметра d_s сопла та швидкості витікання V_s продуктів горіння, тобто числа Струхаля St :

$$St = \frac{V_s}{fd_s}$$

За натурних умов потік акустичної потужності становить 0,3...1 мВт/м².

Проникаючи у приборний відсік, акустичне випромінювання чинить суттєвий вплив на прилади командно-вимірювального комплексу та на навігаційне обладнання. Природа цього впливу пояснюється виникаючими в механічних системах хвильових процесів з досить широким спектральним наповненням.

Зокрема, поплавкові навігаційні прилади зазнають такого впливу в ревер-

бераційному об’ємі, обмеженому корпусом. Дифракція звукових хвиль на рухомій частині гіроскопа – поплавці – призводить до тривимірних пружних коливань його поверхні. Вздовж довжини, паралелі і в площині шпангоута. Коливальні процеси на такій значній поверхні у своїй сукупності призводять до появи похибки вимірювань у вигляді «хибної» кутової швидкості на вхідній осі.

Аналіз природи цього явища та його аналітичне окреслення надасть змогу технічної реалізації засобів ефективної боротьби з ним.

Ключові слова: акустичне випромінювання, похибки вимірювань.

УДК 629.7.054

МНОГОМЕРНЫЕ ЗАДАЧИ УПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМ ПРИБОРОВ С АКУСТИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Мельник В.Н., Карачун В.В., Саверченко В.Г., Ковалец О.Я., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Проникающее под головной аэродинамической обтекатель (ГАО) акустическое излучение генерирует в механических системах бортовой аппаратуры волновые процессы, существенно влияющие на технические характеристики приборов управления и навигационного оборудования. Это влияние проявляется в виде возникающих дополнительных погрешностей измерений. Наиболее опасными звуковые волны представляются для чувствительных элементов систем коррекции.

Трансляция возникающих волновых процессов в реверберационном объеме приборного отсека вообще и отдельно взятого прибора, в частности, в своей совокупности приводит ко многим нежелательным проявлениям, требующим дополнительного энергетического и приборного обеспечения.

Полиагрегатные структуры поплавковых приборов, например, датчик угловых скоростей, в этом аспекте представляют значительный научный и практический интерес. Прежде всего в плане пояснения природы упругого взаимодействия, затем аналитического описания явления с выявлением условий возникновения особенностей резонансного типа.

Практика подобных исследований показывает, что приближенные расчетные модели в виде бесконечных по протяженности плоских и оболочечных элементов (криволинейных пластин) не дают все же полного объяснения изучаемого явления. Это налагает также известные ограничения на выбор тех или иных путей синтеза средств изоляции, либо уменьшения влияний этих проявлений.

Расчетные модели целесообразно представлять в виде объектов конечных размеров и решать, по возможности, не одномерные, но многомерные задачи. При этом представляет интерес установление не только особенностей трансляции на сопряженные элементы, но и их взаимная корреляция по нескольким направлениям. Решение таких задач целесообразно не

ограничивать рамками детерминированных воздействий. Следует рассматривать общий случай – неосесимметричный, а также диффузные возмущающие поля.

Ключевые слова: полиагрегатные структуры, реверберационный объем.

УДК 621.375

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ РМ-22R С ПОВЫШЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Петренко С.Ф., Петренко Е.С., Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина; ТОВ <LILEYA>, г. Киев, Украина

Основным требованием, предъявляемым к прецизионным исполнительным элементам аэрокосмической и специальной наземной техники является высокая разрешающая способность - способность формировать сверхмалые угловые перемещения за достаточно-малый промежуток времени. Например, для лучших шаговых двигателей - это десятки угловых минут.



Рисунок 1 - Пьезоэлектрический двигатель РМ-22R

Нами был разработан ультразвуковой пьезоэлектрический двигатель РМ-22R с угловым разрешением в пределах одной угловой секунды (рис.1) и высокими моментными характеристиками.

Основные технические характеристики пьезоэлектрического двигателя РМ-22R:

Максимальный момент.....: 5 кГ*см
Момент самоторможения.....: 5,1 кГ*см
Максимальная скорость.....: 30 об/мин
Минимальный угловой шаг.....: 1 угл. с
Время разгона: $3 \cdot 10^{-4}$ с
Динамический диапазон.....: 2 кГц
Ресурс.....: 1000 часов
Напряжение питания: 12В
Рабочий ток.....: не более 600Ма
Масса двигателя.....: 240 г

Двигатель может быть широко использован и в других областях науки и техники, как идеальный позиционер с уникальным разрешением и не требующий электропитания в режиме позиционирования.

Указанные технические характеристики позволяют создавать жесткие безлюфтовые безредукторные электромеханические исполнительные механизмы с низкой скоростью вращения, эффективно заменяющие специальные силовые приводы.

Ключевые слова: двигатель, пьезоэлектрический, угловой шаг, разрешающая способность.

УДК 621.372

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОЛІСПЕКТРАЛЬНА ОБРОБКА ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

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

Як показує практика, значна частина відмов авіаційних двигунів зумовлена експлуатаційними пошкодженнями компресорів та турбін внаслідок появи та розвитку в робочих лопатках тріщиноподібних пошкоджень (забоїн, тріщин втоми, корозії, ерозії і т.і.). Тому для підвищення надійності, збільшення ресурсних можливостей і попередження відмов або раптових руйнувань в процесі експлуатації авіаційних газотурбінних двигунів необхідні ефективні методи і засоби діагностування.

Виникнення пошкодження призводить до появи у вимірюваному сигналі додаткових складових низької інтенсивності, для визначення яких застосування традиційних методів спектрально-кореляційного аналізу є мало ефективним. Для ідентифікації даних пошкоджень, оцінювання та прогнозування їх розвитку найбільш доцільно використовувати методи поліспектральної обробки, прийнятні для аналізу локально чи суттєво нестационарних сигналів та чутливі до малих змін корисної інформації в умовах високого рівня адитивних та мультиплікативних завад.

Поліспектральний аналіз в загальному вигляді базується на використанні спектральних характеристик вищих порядків (біспектри, триспектри, функції бікогерентності і ін.). Вони володіють властивістю послаблення впливу шумів на діагностичні ознаки, особливо, якщо сигнал, що обробляється, являє собою адитивну суміш негаусівського процесу з гаусівським шумом, дозволяють виділити статистично зв'язані частини спектру, визначити наявність комбінаційних і модуляційних частот, а також виявити фазові зміни між кратними частотними компонентами сигналу.

Оскільки зародження і розвиток втомної тріщини в лопатці призводить до відхилення характеристики відновлюючої сили від лінійної залежності, то випромінювані при функціонуванні робочим колесом акустичні сигнали будуть нелінійними. Довести наявність нелінійності, а також виділити обумовлені нею зміни в вимірних сигналах, стає можливим при використанні спектральних характеристик вищих порядків.

Для дослідження ефективності поліспектрального аналізу в задачі віброакустичної діагностики малої втомної тріщини в лопатці робочого колеса авіаційного двигуна було проведено моделювання віброакустичних сигналів на виході моделі робочого колеса на стаціонарних та нестаціонарних режимах (швидкого та повільного збільшення частоти обертання ротору).

В роботі досліджується вплив адитивної завади (стаціонарного гаусівського шуму), можливих розбіжностей у значеннях власних частот моделей лопаток, а також можливих флуктуацій частоти обертання ротору на результати поліспектрального оцінювання і на чутливість отриманих оцінок до пошкодження.

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