

СЕКЦІЯ 1

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

УДК 621.375

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕБАЛАНСА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗОНАТОРОВ ВОЛНОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ
ГИРОСКОПОВ**

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

В работе на основе математического моделирования проведено исследование влияния некоторых дефектов изготовления чувствительных элементов волновых и вибрационных твердотельных датчиков инерциальной информации на основные динамические характеристики.

Особенность работы волновых твердотельных гироскопов состоит в возбуждении и поддержании, так называемой, стоячей волны определенной пространственной формы, являющейся источником инерциальной информации, для чего используются собственные контуры возбуждения, поддержания и управления стоячей волной в резонаторе. Для возбуждения необходимой формы колебаний определяют собственную частоту соответствующей формы на которой и проводят «раскачку» резонатора.

Однако из опыта практической реализации волновых твердотельных гироскопов (ВТГ) и теоретических исследований неоднородности массовых характеристик и характеристик формы известно, что не в каждой осесимметричной оболочке удастся возбудить стоячую волну, а даже если удастся то она может «привязываться» по осям дефектов, тем самым вызывая недостоверные показания прибора в целом. На основании сопоставления результатов математического моделирования и натурного экспериментов по определению собственных частот колебаний кориолисова вибрационного гироскопа (КВГ) можно сделать вывод, что для резонатора изготовленного с достаточной точностью динамические характеристики совпадают с численными значениями.

Поэтому представляет интерес исследования влияния дефектов массы и формы на основные динамические характеристики резонаторов. Если учесть, что резонаторы ВТГ представляют собой осесимметричные тонкостенные оболочки рабочая кромка которых может быть аппроксимирована до модели тонкого растяжимого кольца – именно эта зона и является самой критичной по качеству изготовления, то, варьируя величиной дефектов кольца, можно с достаточной точностью говорить об их влиянии в целом на резонаторы и с нетрадиционной формой дна. К таким резонаторам относится резонатор КВГ, представляющий собой металлическую осесимметричную цилиндрическую

оболочку, состоящую из свободного массивного накопителя колебаний в виде кольца и упругого подвеса в виде стакана со сложной структурой дна на котором располагаются системы возбуждения и съема информации, а также системой управления колебаниями.

Ключевые слова: кориолисов, волновой гироскоп, резонатор, дефекты.

УДК 531.383

СОУДАРЕНИЕ РАМОК КАРДАНОВОГО ПОДВЕСА ГИРОСКОПА

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

При проектировании приборов на основе трехстепенного гироскопа в кардановом подвесе всегда применяются меры для исключения совмещения в процессе эксплуатации плоскостей рамок подвеса, так как при этом гироскоп теряет свою работоспособность. Часто для этого предусматриваются упоры, ограничивающие возможный относительный поворот рамок так, что в прогнозируемых условиях эксплуатации соприкосновение упоров не может произойти. Однако встречаются случаи, когда вне эксплуатационных условий может произойти соударение рамок. Например, по окончании работы беспилотного транспортного средства при учебных испытаниях, когда движение объекта становится неуправляемым, и объект начинает вращаться вокруг продольной оси, а гироскоп продолжает вращаться, возможно соударение рамок подвеса через упоры. Как показала практика, возникающие при таком соударении силы могут быть настолько значительными, что вызывают разрушение упоров, а, значит, приводят гироскоп в негодность. Для исключения этого необходимо построить удовлетворительную теоретическую модель процесса соударения рамок и наметить конструктивные меры уменьшения сил, возникающих в упорах.

В докладе приводятся результаты программного моделирования процесса соударения. Построена теория, на основе которой выведены формулы, связывающие значение максимальной силы и длительности ударного импульса с параметрами вращения объекта, гироскопа и упора.

Проведены исследования на программной модели, которые позволяют сделать выводы о выборе жесткости упора и его демпфирующих свойств для обеспечения необходимого уменьшения сил при соударении.

Результаты могут быть использованы при проектировании гироскопических приборов.

Ключевые слова: трехстепенной гироскоп, карданов подвес, соударение рамок.

УДК 531.383

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГІПОТЕЗ ГРАВІТАЦІЇ

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

Порівнюються існуючі гіпотези, за допомогою яких можна розрахувати додатковий (не пояснений теорією гравітації Ньютона) дрейф перигелію Меркурія (і інших планет).

Наразі прийнято вважати, що це явище вичерпно і точно описується законом тяжіння Ейнштейна. Як стверджується в літературі, за теорією відносності кут повороту великої осі еліпса орбіти планети за один повний обіг планети навколо Сонця визначається формулою:

$$24\pi^3 \frac{a^2}{c^2 T^2 (1 - e^2)},$$

де a - велика піввісь, P - період обігу, e - ексцентриситет орбіти. Але сприйняття ейнштейнівського "закону гравітації" перешкоджають наступні обставини:

- відсутні досяжні літературні джерела, де доводиться це співвідношення;
- не виявлені фізичні причини дрейфу перигелію;
- вищезазначена формула одержана П. Гербером у 1898 році за 17 років до появи ЗТВ.

Останнього часу з'являються нові гіпотези механізму передачі силових дій через силове поле. Це викликано нагальною потребою підвести міцне фізичне підґрунтя під відомі явища електро- і гравітадінаміки. Підґрунтя, яке нібито надається теорією відносності, чим далі визнається ненадійним і нефізичним. Однією з таких спроб створити нову теорію польових взаємодій є польова фізика О. Репченко. Усі гіпотези польової взаємодії тіл спираються на загальне припущення – сила взаємодії (потенціал поля) залежить від швидкості розповсюдження поля, яка є скінченною і дорівнює швидкості світла, і від відносної швидкості взаємодіючих тіл.

Розглянуті гіпотези Гербера, Вебера, Рімана, Репченко, Рітца. Відповідні рухи планети промодельовані на ЕОМ. В результаті зроблені наступні висновки.

Найбільш близькі до спостережуваних результати дає застосування гіпотези Гербера. Гіпотеза Вебера за структурою рівнянь збігається з гіпотезою Гербера, але відповідні коефіцієнти членів рівнянь, що визначають дрейф перигелію у 6 разів менше. За обома гіпотезами рух планет здійснюється з виконанням закону незмінності секторної швидкості.

Гіпотези Рімана і Репченко приводять до однакових дрейфів, які у 3 рази менші за спостережувані. Гравітаційний потенціал у гіпотезі Рітца є лінійною комбінацією потенціалів Вебера і Рімана. Підбором коефіцієнту у цій комбінації можна одержати дрейфи спостережуваних величин. Але гіпотези

Рімана, Репченко і Рітца виявляють значну залежність від швидкості планети не тільки дрейфу перигелію, але й періоду обігу планети і ексцентриситету орбіти. В них не виконується закон незмінності секторної швидкості.

Ключові слова: гіпотези гравітації, дрейф перигелію.

УДК 621.45.017

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОТОРУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Павловський О.М., Бурау Н.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Незважаючи на досягнутий в останнє десятиріччя високий технічний рівень контролю та діагностики авіаційних двигунів, практика експлуатації показує, що значна частка з них не напрацьовує свій ресурс через виявлені експлуатаційні несправності та пошкодження. Це негативно відображається, в першу чергу, на безпеці польотів та ефективності авіаційних перевезень. Необхідність підвищення безпеки польотів серед заходів організаційного, контрольного, методичного та нормативно-правового характеру потребує розробки комплексних систем моніторингу за технічним станом двигунів для раннього виявлення несправностей та запобігання можливим катастрофічним наслідкам. Системи повинні базуватись на узгодженому функціонуванні бортових і наземних засобів отримання, обробки та аналізу первинної інформації.

Однією з важливих задач при створенні систем моніторингу є розробка системи аналізу польотної (діагностичної) інформації. Основними завданнями такої системи є розшифровка, перетворення, візуалізація та аналіз основних термогазодинамічних (тиск, температура і т.і.) та вихідних параметрів двигуна (тяга, витрати палива, частота обертання ротору і т.і.), параметрів вібрації та акустичного шуму. Тому основними каналами системи є канали вимірювання вібрації, частоти обертання ротору, температури, тиску, об'єму палива, канал звукозапису бортових комунікацій та ін.

В даній доповіді розглядається канал вимірювання та аналізу частоти обертання ротору. В авіаційних двигунах для вимірювання частоти обертання використовуються індуктивні (магнітоіндуктивні) датчики, частота обертання обчислюється з урахуванням кількості зубців індуктора й передатного відношення. Вплив неконтрольованих факторів, зокрема на нестационарних режимах експлуатації при змінюванні частоти обертання, призводить до появи випадкової складової у каналі вимірювання частоти, що може негативно позначитись на кінцевому результаті визначення стану двигуна. Для зменшення чи видалення випадкової складової використано вейвлетну фільтрацію. Розроблене програмне забезпечення дозволяє проводити фільтрацію, детальний

аналіз інформації шляхом візуалізації та виділення окремого фрагменту, збереження та друк необхідних даних.

Ключові слова: авіаційні двигуни, моніторинг, аналіз польотної інформації, канал вимірювання частоти обертання ротору, фільтрація.

УДК 624.014:692.2

МОНИТОРИНГ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

¹) Жуковский Ю.Г., ²) Рыжый М.Н., ²) Кулиш Э.В., ¹) Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; ²) ЦНТУ «Инжзащита», г. Ялта, Украина

Характерной особенностью развития современных мегаполисов является увеличение числа этажей строящихся зданий. В настоящее время уже стало нормой строительство в г. Киеве 30 - 40 этажных зданий, а в ближайшей перспективе планируется строительство 100 - 120 этажных. Этот процесс происходит при постоянном увеличении населения города и числа транспортных средств.

Увеличение техногенной нагрузки на геологическую среду города приводит к тому, что вся его территория находится под постоянным воздействием микросейсмических возмущений. Средний фон микросейсмических колебаний в г. Киеве характеризуется величиной 50 - 60 дБ, при этом эта цифра гораздо выше вблизи автомобильных дорог, трамвайных и железнодорожных путей. Весомый вклад в микросейсмические возмущения вносят линии метрополитена, проложенные неглубоко под землей. Кроме техногенных микросейсмических возмущений на здания и сооружения периодически воздействуют и такие природные явления, как ветер, дождь, град, постоянные колебания температуры. Следует также учитывать, что территория г. Киева относится к 5-ти балльной сейсмической зоне. В этих условиях чрезвычайно важно, чтобы такие строительные объекты, как высотные здания, находились под постоянным контролем. Этого требуют нормативные документы и здравый смысл, так как разрушение здания такого масштаба может привести к потере большого числа человеческих жизней и огромным для государства убыткам.

Для контроля технического состояния высотных зданий измерительная аппаратура и методики проведения наблюдений должны разрабатываться индивидуально с учетом его конструктивных особенностей и окружающей геологической среды. В тоже время есть ряд параметров, измерение которых обязательно. На наш взгляд, это вибрационные измерения, по результатам которых можно сделать заключение о напряженно-деформированном состоянии отдельных узлов и конструкций здания, а также угловые измерения, которые позволяют контролировать изменение их пространственного

положения. Использование в системах мониторинга прецизионных датчиков и современной вычислительной техники позволит, даже этим ограниченным числом измеряемых параметров, с большой степенью достоверности решить задачу по определению текущего физического состояния высотного здания, но и составить прогноз ресурса его безопасной эксплуатации.

Большое значение, наряду с контролем параметров здания, имеет измерение параметров окружающей природной среды. Например, измерение силы и направления ветра, количества осадков, изменения уровня грунтовых вод. Эти и ряд других менее значительных факторов в конечном итоге определяют физическое состояние диагностируемого здания.

С учетом больших размеров высотного здания, высота которого может превышать 500 метров, необходимо для получения информации обеспечить надежную и качественную доставку ее на центральный пульт. Это возможно только за счет беспроводной связи. Чтобы избежать потери информации система мониторинга должна работать непрерывно в автоматическом режиме, при этом производить первичную обработку измерений. Это позволит в случае критических ситуаций предпринимать адекватные меры.

Ключевые слова: мониторинг, информационно-диагностическая аппаратура, высотные здания, безопасная эксплуатация.

УДК 528.526.6

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ НАЗЕМНОГО МАЯТНИКОВОГО ГИРОКОМПАСА

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

Наземные гирокомпасы являются одним из средств определения азимутов ориентирных направлений в различных областях, в частности, в геодезии, строительстве подземных сооружений, наземной навигации, а также при проверке контрольных элементов эталонных направлений

Существующие в настоящее время системы наземного ориентирования, построенные на основе трехстепенных маятниковых гирокомпасов, обеспечивают заданную точность при заданном времени измерения азимута в условиях неподвижного основания. Однако, при определении азимута основание, на котором установлен гирокомпас, совершает сложное пространственное движение. В этом случае гирокомпас находится под воздействием линейных и угловых колебаний, что может привести к появлению существенных погрешностей определения азимута.

Таким образом, актуальной является задача оптимизации параметров маятникового гирокомаса с целью уменьшения погрешностей, возникающих вследствие пространственной вибрации основания. Для решения данной задачи разработана математическая модель прибора с учетом малых угловых и

линейных колебаний основания. В рамках рассматриваемой модели были получены выражения погрешностей маятникового гирокомпаса, возникающие при действии пространственной вибрации. На основании полученных выражений проанализированы пути уменьшения погрешностей путем выбора оптимального соотношения конструктивных параметров прибора. Для уточнения полученных результатов, математическая модель гирокомпаса была реализована в среде Simulink системы MatLab. Проведено моделирование работы наземного маятникового гирокомпаса при действии угловых и линейных колебаний основания. На основании результатов моделирования проведен анализ предложенных способов уменьшения погрешностей гирокомпаса.

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

УДК 528.526.6

МАЛОГАБАРИТНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ АЗИМУТАЛЬНОГО ОРІЄНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Юр'єв Ю.Ю., Машиністов Е.С., Ліхоткін О.М., Казенне підприємство «Центральне конструкторське бюро «Арсенал», м. Київ, Україна

Сучасні пристрої для азимутального орієнтування напрямків розробки КП «ЦКБ «Арсенал», що мають класичну схему побудови, забезпечують високу точність визначення азимуту, порівняно малий час вимірювання й автономність, але мають наступні недоліки: складність конструкції, великі габарити і маса, високу вартість та ін.

Проектування пристрою для азимутального орієнтування напрямків в сучасних умовах вимагає врахування багатьох факторів. Сучасний пристрій для азимутального орієнтування напрямків, як, насамперед, геодезичний прилад, повинен бути універсальним, малогабаритним, мобільним, дешевим приладом, мати достатню для вирішення конкретної задачі точність визначення азимуту. Треба також враховувати той факт, що сучасні геодезичні прилади (тахеометри, теодоліти, далекоміри та ін.) можуть виконувати функції теодолітної (кутовимірної) частини пристрою для азимутального орієнтування напрямків.

З урахуванням вказаних вище недоліків класичних гіроскопічних пристроїв та сучасних тенденцій розвитку подібної техніки фахівцями КП «ЦКБ «Арсенал» було розроблено ряд малогабаритних пристроїв для азимутального орієнтування напрямків, виконаних у вигляді гіроскопічних насадок до теодоліта, тахеометра, далекоміра та ін., використання яких дозволяє розширити функціональні можливості вказаних приладів в умовах, коли визначення азимуту орієнтирного напрямку ускладнено або є неможливим. Окрім цього, застосування розроблених пристроїв дозволяє зменшити час

визначення азимуту та значно зменшити вартість топогеодезичних робіт, що пов’язані з необхідністю визначення азимуту орієнтирних напрямків.

В малогабаритному пристрої для азимутального орієнтування напрямків, який виконано у вигляді гіроскопічної насадки до теодоліта або тахеометра реалізовано технічні рішення, що дозволили без ускладнення конструкції пристрою підвищити точність визначення азимуту за рахунок мінімізації випадкової складової похибки, що спричинена нестабільністю положення візирної вісі автоколіматора та нормалі до відлікового дзеркала чутливого елемента.

Новизна та актуальність технічних рішень, що реалізовані в гіроскопічних пристроях для азимутального орієнтування напрямків підтверджені патентом, що був отриманий КП «ЦКБ «Арсенал» в 2008 році.

Ключові слова: азимутальна орієнтація, гіроскопічна насадка, азимут.

УДК 629.179.13

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

¹⁾Яцко Л.Л., ¹⁾Трофименко Р.А., ²⁾Антонов А.О., ¹⁾ОАО «НТК «Електронприлад», г. Киев, Украина; ²⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Разработка новых перспективных систем управления (САУ) авиационными двигателями осуществляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к двигателю в целом и к САУ, а также с учетом существующего уровня развития элементной базы. От правильности обоснования и выбора элементов САУ будут зависеть не только характеристики двигателя, но и технико-экономические показатели летательного аппарата. Поэтому при разработке новых систем управления необходимо учитывать потенциальное будущее моральное старение элементов совместно с перспективой длительного жизненного цикла авиационного двигателя.

Современный уровень развития миниатюризации и интеграции элементной базы позволяет обеспечить новый, более высокий уровень расчетной безотказности систем управления и контроля. Благодаря появлению микросхем, содержащих сверхмощный процессор, память, программы и данные, коммуникационные интерфейсы, АЦП, ЦАП и др., изменилась схемотехника устройств САУ. Это позволило повысить надежность САУ, но на сегодняшний день пути дальнейшего повышения надежности за счет миниатюризации электронных компонентов уже практически исчерпаны. Поэтому наиболее эффективным направлением повышения функциональной надежности САУ сейчас является совершенствование структурных решений и функциональных схем построения систем управления и контроля.

В данном докладе рассматривается возможность построения полноценной трехканальной системы для перспективной САУ БУК-3000. Особенностью системы является двойной перекрестный обмен информацией: первый процесс обеспечивает выполнение расчетных алгоритмов по одинаковым исходным данным и выявление отказов в системе сбора и обработки первичной информации. Второй – обеспечивает выявление отказов уже в системе центрального вычислителя. Таким образом, гарантируется высокая вероятность выполнения функции – вычисление потребного расхода топлива и формирование выходного управляющего сигнала. Выполнена оценка надежности системы (по величине безотказности) для предложенных схем резервирования

Ключевые слова: авиационный двигатель, САУ, миниатюризация, функциональная надежность.

УДК: 681.3+ 615.89

АНАЛІЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОРІОЛІСОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА

*Стеценко І.М., Мелашенко О.М., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

На сьогодні коріолісові вібраційні гіроскопи (КВГ) отримали широке застосування у різноманітних областях науки і техніки. Це пояснюється такими їхніми перевагами перед класичними приладами, як дешевизна, висока надійність, достатня точність, стійкість до вібрацій та ударів. При всьому вище наведеному КВГ являє собою мехатронну систему малих розмірів, точність якої визначається алгоритмами керування коливаннями та якістю виготовлення механічної частини приладу. Тому правильно синтезований алгоритм керування, який був би стійким до зміни параметрів чутливого елемента (ЧЕ), викликаних недоліками виробництва і зовнішніми чинниками значною мірою визначає характеристики приладу в цілому.

Для КВГ, який працює у режимі датчика кутової швидкості зазвичай використовується компенсаційна схема системи керування, до складу якої входять чотири контури: контур стеження за власною частотою резонатора, контур підтримування амплітуди основної моди коливань, контур силового урівноважування хвилі і контур компенсації квадратурної складової. В даній системі для збудження і підтримання другої моди коливань у ЧЕ КВГ, як правило використовується схема фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), яка потребує інформації про фазові співвідношення між сигналами у контурі. Це передбачає необхідність розгляду лінійної моделі хвилі у контурі керування КВГ для більш точного налаштування ЧЕ на резонанс.

Використовуючи схему адаптивного керування КВГ, у якій задача збудження ЧЕ вирішується на основі введення опорної траєкторії руху хвилі,

можна налаштувати частоту вібрації ЧЕ за фіксованим еталонним сигналом таким чином, щоб гіроскоп відтворював поведінку ідеального гіроскопа на який не діє кутова швидкість.

Внаслідок особливості роботи КВГ в його чутливому елементі мають збуджуватися і підтримуватися резонансні коливання, але через складність зміни п'єзоелектричними силами динамічних параметрів резонатора КВГ, застосування адаптивної схеми керування хвилею КВГ є неефективним.

Ключові слова: коріолісовий вібраційний гіроскоп, компенсаційна схема системи керування, система фазового автопідстроювання частоти, адаптивне керування.

УДК 629.7.054

О ПЕРСПЕКТИВАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОПЛАВКОВОГО ПОДВЕСА ГИРОСКОПА

*Карачун В.В., Мельник В.Н., Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Решение задачи взвешивания гиروزла, т.е. перехода к многофазному подвесу, позволило значительно повысить вибро- и удароустойчивость приборов, снизить сухое трение на выходной оси и, естественно, порог чувствительности. Кроме того, значительно улучшились демпфирующие свойства за счет увеличения вязкого сопротивления.

Вибрация входит внутрь прибора через опоры. Поэтому такое решение было оправдано для определенных Технических условий. Вместе с тем, пространственное нагружение – акустическое излучение, тепловой факел и т.п. – попадающие внутрь не только через опоры, но и через среду, имея на пути распространения волны возмущения жидкофазную структуру, получили облегченный доступ внутрь, со всеми вытекающими последствиями.

Таким образом, возникает задача максимального сохранения первоначальной идеи, как убедительно доказавшей свою состоятельность, наряду с изменением геометрии поплавка подвеса переходом от классического цилиндра к оболочке вращения с произвольной геометрией очертания линии меридиана.

Сохраняя за классическим цилиндром несомненные достоинства как наиболее простого с точки зрения технологии изготовления, следует отметить его недостаточную жесткость в плоскости шпангоута при значительных ее величинах вдоль параллели и протяженности. При силовом нагружении (например, акустическом, в 150 – 160 дБ) это неизбежно приводит к упругим деформациям поверхности подвеса, которые в своей совокупности воспринимаются гироскопом как «ложный» входной сигнал.

Произвольное очертание оболочечной части подвеса позволит не только четче сформулировать методику анализа, но создаст научную базу для

сравнительного изучения явления. Как частное, строится картина прохождения звука через цилиндр.

Представляет интерес детальное изучение двух видов поплавкового подвеса – с выпуклой, бочкообразной формы, и вогнутой наружной поверхностью. Кроме ожидаемого эффекта существенного уменьшения упругих перемещений поверхности в плоскости шпангоута, представляется реальная возможность исключения в этом случае зон каустик в жидкофазной части подвеса. Речь идет о снижении уровня концентрации проникающего акустического излучения пассивными методами

Ключевые слова: поплавковый подвес, акустическое излучение, тепловой факел.

УДК 629.7.054

ПРОНИКАЮЩЕЕ ПОД ФЮЗЕЛЯЖ ЛА АКУСТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВСЛЕДСТВИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

*Мельник В.Н., Карачун В.В., Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Флуктуации давления воздушной среды очень часто оказываются причиной колебаний корпуса РН и вызывают, по-видимому, большую часть нерегулярных вибраций фюзеляжа. Случайные пульсации из-за неустойчивости потока воздуха содержат области, вызывающие интенсивные пульсации давления вблизи ракеты. Проанализируем некоторые положения теории и эксперимента, устанавливающих степень влияния неустойчивости аэродинамического потока на пульсации давления. В качестве исходного, примем предположение о незначительном влиянии вибрации поверхности корпуса ракеты на флуктуации давлений в турбулентном пограничном слое.

Поля давлений, как известно, могут быть двух категорий. В одном случае, они являются порождением местных флуктуаций количества движения и сжимаемость воздуха не оказывает существенного влияния. Во втором, при акустических давлениях, наоборот, сжимаемость воздуха играет решающую роль для формирования интенсивности и скорости распространения звуковых волн.

В случае акустических давлений, волны перемещаются с местной скоростью звука относительно окружающей среды. Однако, вследствие движения ракеты, скорость волн давления на поверхности будет определяться уже суммой местной скорости звука и скорости полета. И поскольку последняя сильно изменяется, а звуковые волны подходят к ракете под разными углами, то становится очевидным, что скорость перемещения волн давления относительно корпуса РН может принимать множество значений.

Теория пульсаций давления берет свое начало из двух классических работ М.Ж. Lighthill's о звуке, генерируемом в аэродинамическом потоке. В них

отмечается, что в натуральных условиях звук акустически эквивалентен звуку, генерируемому в идеальной среде системой распределенных источников, квадрупольей. М.Л. Lighthill аналитически связал мощность источников с тензором турбулентных напряжений T_{ij} :

$$T_{ij} = \rho U_i U_j + P_{ij} - c_0^2 \rho \delta_{ij},$$

где ρ – плотность жидкости; U_i – компонента скорости в i -м направлении; P_{ij} – тензор напряжений, учитывающий и давление, и эффекты вязкости; c_0 – скорость звука в идеальной среде; δ_{ij} – символ Кронекера.

Ключевые слова: пульсации давления, акустическое давление, звуковые волны.

УДК 629.7.054

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ КРЫШКИ КОЖУХА ГИРОИНТЕГРАТОРА В АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

*Кладун Е.А., Ковалец О.Я., Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Суть задачи состоит в том, что подшипники главной оси гироскопа крепятся в крышках кожуха, посадочные места наружных обойм геометрически располагаются в центре. Таким образом, логично в дальнейшем рассматривать торцевые поверхности как круглые кольцевые поверхности наружного радиуса R и внутреннего – r_0 , причем и внутренний и наружный контур предположить жестко закрепленными. Что касается внешнего, то есть наружной боковой поверхности пластины, то обоснование этого условия сформулировано ранее. По внутреннему же радиусу r_0 оно может иметь простую трактовку, состоящую в том, что центры крышек кожуха конструктивно соединены с установленным в них ротором гиromотора, и, таким образом, не могут совершать изгибного движения.

Основные предпосылки и построение модели расчета. Дифференциальное уравнение кольцевой пластины имеет вид –

$$\Delta^2 W(x, y) = \frac{1}{D} q(x, y) \stackrel{def}{=} f(x, y), \quad (1)$$

где Δ^2 – бигармонический оператор; D – цилиндрическая жесткость; $q(x, y)$ – плотность внешней нагрузки (акустическое давление); $0 < r_0^2 < x^2 + y^2 < R^2$; r_0 – наружный радиус обоймы подшипника главной оси.

$$\Gamma = \{x^2 + y^2 = r^2\} \cup \{x^2 + y^2 = R^2\} \cup \left\{ -\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} \right\} - \text{боковая поверхность}$$

пластины.

Граничными примем однородные условия

$$W|_G = 0; \quad \left. \frac{\partial W}{\partial n} \right|_G = 0, \quad (2)$$

где $\frac{\partial}{\partial n}$ – оператор дифференцирования по внешней нормали к боковой поверхности пластины G .

В дальнейшем считаем, что правая часть исходного уравнения является средним значением функции $f(x, y)$ на окружности $r_0 < r = \text{const} < R$, а угол φ изменяется в пределах $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, то есть –

$$\overline{f(x, y)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(r \cos \varphi, r \sin \varphi) d\varphi \stackrel{\text{def}}{=} g(r). \quad (3)$$

Ключевые слова: кольцевая пластина, крышка кожуха.

УДК 519.622.2:629.5.052.7

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ АВТОНОМНОЙ БИНС

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

При проектировании современных навигационных систем возникает задача обоснования выбора элементов, схемотехнических и программных решений с целью обеспечения заданной точности системы. Для решения такой задачи необходимо наличие моделей погрешностей, вносимых компонентами навигационной системы: чувствительными элементами, усилителями, аналого-цифровыми преобразователями, методами решения кинематических и навигационных уравнений и погрешностями вычислительных устройств. Анализ литературы показал, что эти вопросы не достаточно проработаны.

В данной работе проанализирована структура погрешностей бесплатформенной инерциальной навигационной системы, с учетом выше-приведенных составляющих. Рассмотрено влияние ошибок датчиков, методов решения и вычислительных устройств на точность навигационной системы. В качестве модели погрешности датчиков были использованы стохастические модели погрешностей. Рассматривались следующие кинематические параметры: направляющие косинусы, углы Эйлера, углы Эйлера-Крылова, параметры Родрига-Гамильтона, параметры Эйлера, вектор конечного поворота, параметры Кейли-Клейна, кватернионы, параметры Гиббса. Для вывода алгоритмов численного интегрирования кинематических уравнений были использованы метод последовательных приближений Пикара и разложения решения в ряд Тейлора. Построены алгоритмы численного интегрирования с точностью до пятого порядка, в которых вектор угловой

скорості $\omega = i\omega_x + j\omega_y + k\omega_z$ на шаге інтегрування представляється в виде полинома

$$\omega(\tau) = \omega_0 + 2\varepsilon\tau + 3a\tau^2 + 4b\tau^3 + 5c\tau^4,$$

где $\omega_0, \varepsilon, a, b, c$ – постійні коефіцієнти, значення которых на каждом шаге інтегрування определяется путем полиномиального інтерполювання по значенням кулової скорості на нескольких предыдущих шагах, τ – шаг інтегрування. Анализ алгоритмов показал, что алгоритмы пятого порядка не имеют значительных преимуществ перед алгоритмами четвертого при использовании идеальных моделей датчиков.

Исследование проводилось в системе математического моделирования Scilab для различных случаев движения судна на регулярном и нерегулярном волнении.

В результате данной работы были получены алгоритмы определения характеристик элементов БИНС по заданной точности всей системы в целом.

Ключевые слова: погрешности, кинематические параметры, навигационный вычислитель, алгоритмы автономной БИНС.

УДК 534.647

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ ИУП – 2 ПРОГРАМНЫМИ МЕТОДАМИ

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

В наше время метод вибродиагностики очень широко используется как один из инструментов мониторинга. Это связано с тем, что многие объекты, такие как высотные здания, вышки, опоры находятся под действием переменных нагрузок, которые включают в себя вибрационные и статические нагрузки, очень важно контролировать эти возмущения.

Для приема первичной информации применяется акселерометр. Он измеряет проекцию кажущегося ускорения. Обработка сигнала с акселерометра программными методами на ЭВМ дает возможность судить сразу о двух физических величинах, о пространственном положении объекта относительно вертикальной оси (инклинометрия), а также о процессе изменения деформированного состояния объекта исследования.

В данной работе представлено алгоритмическое и программное обеспечение для реализации в течение одного измерительного цикла вибрационного контроля, а также пространственного положения контролируемого объекта. Алгоритмическое и программное обеспечение характеризуется в том, что чтение и запись сигнала с датчика происходит выборками, определенными во времени. Для определения установленных характеристик используют выборки измеряемого сигнала: для определения пространственного положения

предусмотрено осреднения выборки, а для определения вибрационных параметров используется спектральный анализ.

Такое программное обеспечение дает возможность меньшей затраты ресурсов ЭВМ при обработке сигнала, так как инклинометрические параметры менее динамичны по отношению к вибрационным. Полученный для каждой временной выборки спектр сравнивается с установленным заранее пороговым значением для каждого диапазона частот. В том случае если амплитуда спектра превышает пороговое значения, выборка вибрационного сигнала сохраняется в буфер для дальнейшего анализа, так как превышение порогового значения может быть вызвано возмущением, которое должно проанализироваться более детально.

Ключевые слова: акселерометр, инклинометр, программное обеспечение, вибродиагностика.

УДК 534.647

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

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

В умовах сучасного міста все більшої актуальності набуває будівництво

багатопверхових житлових та офісних споруд. З одного боку це необхідно при постійному зменшенні вільних територій під будівництво, а з іншого це створює додаткові проблеми при експлуатації цих будівель. Адже такі споруди зазнають суттєвих навантажень за умов сильних та різких поривів вітру (до 30 м/с), сейсміки основи та наявності будь-яких дефектів при побудові. Розрахунки показують, що, наприклад, 120-поверхові споруди, які найближчим часом будуть зводитися у місті Києві, при орієнтовних розмірах 50 метрів в ширину та близько 600 метрів у висоту, зазнають навантажень близьких до 1 200 000 кг (еквівалентно $40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$). В свою чергу циліндричний резервуар діаметром 7 метрів, висотою 6,5 метрів за таких же поривів вітру зазнає навантаження від дії вітру близько 4 000 кг на всю площину дії. Така дія вітру на споруди та конструкції проявляється у вигляді статичного вітрового навантаження і в збуджені коливальних конструкцій. Недостатня кількість знань про дію вітру на споруду, що досліджується, може призвести до порушення конструкції, появу у ній небезпечних дефектів. За таких умов необхідно постійно отримувати інформацію про стан об'єкту, що досліджується.

Загалом, принцип дії багатоканального інформаційно-діагностичного комплексу оснований на контролюванні кожного типу з можливих пошкоджень. Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати три методи моніторингу: інклінометрія (просторове положення об'єкта відносно

вертикальної осі), тензометрія (оцінка напружено-деформованого стану конструкції, напруження у місцях концентрації напруг) та вібродіагностика (процеси зміни динамічного стану об'єкта дослідження, визначення взаємозв'язків динамічних параметрів, частот і амплітуд резонансних коливань елементів об'єкту).

У якості первинних перетворювачів сигналів у системі використовуються два види датчиків - акселерометри та тензорезистори. Для задач інклінометрії використовується два одновісних електромеханічних датчиків акселерометра *ДА-11*, осі чутливості яких розташовані перпендикулярно одна відносно одної. Щоб забезпечити вирішення задач вібродіагностики використовуються об'ємні інтегральні мікромеханічні акселерометри марки *Analog Devices*, моделі *ADXL203EB*.

Датчики системи встановлюються безпосередньо на споруду в місця найбільш можливого виникнення пошкоджень. Сигнали з датчиків за допомогою схеми передачі та вимірювально-обчислювального блоку, який включає в себе мікроконтролер, підсилювачі, фільтри та аналого-цифровий перетворювач, потрапляють на ПК, де проходить подальша їх обробка. Після аналізу результатів вимірювань можна скласти повну картину функціонального стану споруди і говорити про можливі пошкодження. Також передбачено створення аварійної сигналізації, яка спрацьовує у разі перевищення параметрами, що вимірюються, деяких умовно встановлених меж.

Перевагами розробленої схеми є енергонезалежна флеш-пам'ять, що дозволяє зберігати поточну інформацію з датчиків протягом нетривалого часу у разі виникнення критичних обставин. Вагомим плюсом схеми є дубльований зв'язок датчиків з накопичувачем інформації – це дротовий та радіозв'язок.

Ключові слова: вітрове навантаження, інклінометрія, вібродіагностика, тензометрія, акселерометри.

УДК 681.3

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

*Артюх Ю.О., Мироненко П.С., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Використання кварцових елементів в конструкціях датчиків фізичних величин дозволяє суттєво покращити їх експлуатаційні характеристики: високу точність і надійність, достатню чутливість, лінійність статичної характеристики, достатній динамічний діапазон вимірювання, мінімальні масогабаритні показники. Ці вимоги, як правило, протирічать між собою. Важливо також знаходити такі конструкторські рішення, які дають можливість зберігати при цьому високостабільні пружні характеристики кварцових елементів і вузлів. Точність і надійність можуть бути досягнені за

рахунок виконання вимог відсутності контакту в перетворювачах і мінімізації зворотної силової реакції перетворювача переміщень на чутливий елемент.

Досягнення заданої точності, як однієї з відповідальних характеристик, вимагає проведення найбільш важливих теоретичних і експериментальних досліджень.

Основна мета роботи – подальше удосконалення точностних характеристик інтегральних акселерометрів. Проведено аналіз структурних схем різних датчиків з інерційними вузлами і відповідних передавальних функцій. Основна увага приділялась вивченню нелінійних залежностей, якими зв'язані конструктивні і фізичні параметри акселерометрів.

Ключові слова: інтегральний акселерометр, оптимізація параметрів.

УДК 629.1.05

ДВА АЛГОРИТМИ ПЛАТФОРМЕНОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Негода С.С., Мелешко В.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

На даний момент інерціальні навігаційні системи (ІНС) являють собою складний комплекс вимірювальних пристроїв, який дозволяє з високою точністю визначити параметри руху і місцеположення об'єкта. Забезпечення заданої точності орієнтації і навігації рухомого об'єкта залежить від точності вимірювальних пристроїв (акселерометрів і гіроскопів) та алгоритмів обчислень. Для прогнозування точності і швидкодії обчислення параметрів руху доцільно проводити моделювання алгоритмів роботи ІНС.

В доповіді досліджуємо два алгоритми роботи, які відрізняються процедурами знаходження широти, довготи та путьового кута:

У першому для обчислення вказаних навігаційних параметрів використовують необхідні направляючі косинуси:

$$\varphi = \arctg \frac{u_{31}}{\sqrt{1-u_{31}^2}}; \quad \lambda = -\arctg \frac{u_{32}}{u_{33}}.$$

Направляючі косинуси обчислюють за допомогою кінематичних рівнянь Пуассона по даних про відносні швидкості руху об'єкта.

У другому ці параметри обчислюють шляхом інтегрування відносних лінійних швидкостей:

$$\varphi = \int_0^t \frac{v_N}{R} dt + \varphi_0; \quad \lambda = \int_0^t \frac{v_E}{R \cos \varphi} dt + \lambda_0.$$

У приведених формулах φ - широта, λ - довгота, u_{ij} - направляючі косинуси,

v_N, v_E - північна та східна складові відносної швидкості, R – радіус Землі.

Моделювання вказаних алгоритмів дає можливість оцінити точність алгоритмів та час їх обчислення. Наприклад, при кутовій швидкості дрейфу гіроскопів 0,01 град./год та сталій похибці акселерометра 10^{-4} м/с² похибки першого та другого алгоритмів на протязі 8 годин приблизно однакові, та знаходяться у діапазонах: $\pm 0,2'$ – у визначенні горизонту, $\pm 0,5$ м/с – у визначенні швидкості, досягають $-3'$ (трьох миль) у визначенні координат. Час обчислень першого алгоритму при моделюванні у середовищі Matlab на лабораторному комп'ютері на 10 відсотків більше. Ця оцінка дає змогу порівняти швидкодію алгоритмів.

Розвиток технологій зі спільного використання (ІНС) і супутникових навігаційних систем (СНС) GPS-ГЛОНАСС, потребує використання рівнянь похибок ІНС. Рівняння похибок можна побудувати за рахунок віднімання з рівнянь реальної роботи ІНС рівнянь ідеальної роботи, або за допомогою варіації змінних рівнянь ідеальної роботи. Час обчислень рівнянь похибок визначає можливу частоту видачі параметрів інтегрованої системи. Оцінки точності роботи та часу обчислення показують, що переваги мають рівняння похибок другого алгоритму.

Ключові слова: інерціальна навігаційна система, супутникова навігаційна система, направляючі косинуси, відносні лінійні швидкості.

УДК 624.131.1: 504.054

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКОЛОГО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

¹⁾Рыжый М.Н., ¹⁾Кулиш Э.В., ²⁾Бурау Н.И., ²⁾Жуковский Ю.Г., ¹⁾ЦНТУ «Инжзащита», г. Ялта, Украина; ²⁾ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Последние десятилетия характеризуются как возрастающим негативным воздействием человека на окружающую природную среду, так и активной деятельностью по ее сохранению. Традиционно сложилось так, что нефтегазовая, химическая, металлургическая и угольная промышленности наносят наиболее сильный урон природной среде. Поэтому именно в этих отраслях промышленности необходимо осуществлять контроль при производстве, транспортировке и хранении эколого-опасных веществ.

Решение этой задачи, помимо законодательных мер, требует постоянного контроля, который без создания современных информационно-диагностических комплексов осуществить невозможно.

Для предотвращения техногенных катастроф на объектах с опасными производственными циклами, а также для различных объектов хранения эколого-опасных жидкостей предлагается информационно-диагностический комплекс, разработанный с учетом последних достижений в областях приборостроения, микроэлектроники и информационно-измерительных систем.

Основным при работе комплекса является то, что процесс измерения и первичный анализ полученной информации происходят в автоматическом режиме. При этом для достоверности полученной информации измерение основных диагностических признаков объекта происходит путем дублирования, т.е. измерения производятся датчиками, построенными на различных физических принципах.

Большинство эколого-опасных объектов находится под постоянным воздействием внешних возмущений природного и техногенного происхождения. Среди многих из них выделим микросейсмические возмущения, ветровую нагрузку, изменение уровня подземных вод и температурные колебания. Почему выделены именно эти воздействия? На наш взгляд, именно эти возмущения являются наиболее активными в разрушении объекта. Микросейсмические возмущения создаются работающим оборудованием, различными видами транспорта, порывами ветра. Под их постоянным влиянием в конструкциях объекта возникают местные напряжения, вызывающие появление и развитие микротрещин. Подтопление основания фундаментов или скачкообразные изменения уровня подземных вод в зоне объекта приводит к изменениям объемов грунтов основания (просадка, набухание, усадка), приводящих к пространственным смещениям фундаментов, что провоцирует опасные деформации объекта.

Поэтому для диагностики эколого-опасных объектов, как отмечалось выше, необходимо использовать комплексный подход, а именно: измерять не только признаки объекта, характеризующие его физическое состояние, но и те возмущающие факторы, которые на изменение этого физического состояния оказывают наибольшее влияние. Решить это позволит разработанный многоканальный информационно-измерительный комплекс. А с помощью универсального программного обеспечения решаются задачи не только определения текущего физического состояния объекта, но осуществляется прогноз о его изменении в будущем.

Ключевые слова: диагностика, эколого-опасные объекты, микро-сейсмические возмущения.