

СЕКЦІЯ 1
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ
НАВІГАЦІЇ І КЕРУВАННЯ

УДК 531.383

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ МІКРОМЕХАНІЧНОЇ
КУРСОВЕРТИКАЛІ З РІЗНИМИ ТИПАМИ КОРЕЦІЇ

Нестеренко О. І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

E-mail: oleg.i.nesterenko@gmail.com

Об'єктом дослідження є безплатформна гіромагнітна курсовертикаль (БКВ). Основними вимірювачами БКВ є гіроскопи і акселерометри. Використання мікромеханічних вимірювачів, зокрема гіроскопів, не дозволяє виконати гірокомпасування для визначення орієнтації об'єкта в азимуті, тому БКВ містить також магнітометри, які дозволяють визначати напрямок магнітного меридіану, а обчислення географічного кута курсу здійснюється шляхом врахування поправок на магнітне схилення.

Точність визначення орієнтації у БКВ залежить як від характеристик вимірювачів – гіроскопів, акселерометрів, магнітометрів, так і від алгоритмів використання сигналів цих вимірювачів для обчислення орієнтації об'єкту. Спільною частиною алгоритмів БКВ є інтегрування рівнянь орієнтації, побудованих на даних гіроскопів, з корекцією за сигналами акселерометрів і магнітометрів. В даній роботі розглянуті найбільш поширені різновиди такої корекції – пропорційно-інтегральна і постійна корекція, а також використання оптимального фільтру Калмана (ОФК). Крім основного алгоритму роботи БКВ, на точність визначення орієнтації також впливає логіка вимкнення (або ослаблення) корекції при детектуванні збурень системи корекції (лінійних прискорень, збурень магнітного поля). В даній роботі розглянуто вимкнення пропорційно-інтегральної і постійної корекції при перевищенні горизонтальним прискоренням об'єкта встановленого порогу, і ослаблення / вимкнення корекції ОФК при перевищенні порогів нев'язками фільтра.

Наведені результати тестування БКВ на одноосьовому стенді, який задає випадкову кутову хитавицю, а також під час руху на автомобілі. При цьому були підібрані найкращі налаштування параметрів алгоритмів.

На стенді випадкової хитавиці з амплітудою до 5° і переважним періодом близько 2 с всі три варіанти корекції БКВ забезпечили приблизно однакову точність на рівні $0.06^\circ - 0.08^\circ$ (середньо-квадратична похибка). При випробуванні на автомобілі постійна корекція забезпечила кращу точність:

Тип корекції	Середньо-квадратична похибка, градуси	
	Тангаж	Крен
Пропорційно-інтегральна	0.54	0.50

Постійна	0.28	0.25
ОФК	0.46	0.26

Ключові слова: курсовертикаль, ОФК, динамічна точність.

УДК 531.383

ПД-РЕГУЛЯТОР В КОНТУРІ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ГІРОТЕОДОЛІТА

¹⁾Мураховський С. А., ¹⁾Мироненко П. С., ²⁾Боярчук А. О.

¹⁾КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна, ²⁾КП СПБ «Арсенал», Київ, Україна

E-mail: s.murakhovsky@kpi.ua

Більшість сучасних гіротеодолітів і гірокомпасів використовують компенсаційний метод вимірювання азимута, при якому вихідним сигналом приладу є напруга на обмотках датчика моменту (ДМ) зворотного зв'язку. Для формування напруги на ДМ в колі зворотного зв'язку зазвичай використовується досить великий набір ланок, які забезпечують необхідні вимоги до динамічних характеристик системи в цілому, перш за все власну частоту і показник загасання коливань чутливого елемента (ЧЕ) в азимуті. У даній роботі пропонується новий пропорційно-диференційний регулятор, для роботи якого достатньо двох підсилюючих елементів (пропорційних ланок) для сигналів кута і кутової швидкості повороту ЧЕ в азимуті.

Запропоновано нову структуру регулятора зворотного зв'язку, коефіцієнти якого визначаються методами модального керування по неповністю вимірюваному вектору стану. Розглянуто математичну модель приладу у формі простору станів. Проведено аналіз керованості при заданій структурі матриць стану і передачі керування. Визначено матричні передатні функції об'єкту керування та коефіцієнти ПД-регулятора на основі бажаного значення двох коренів характеристичного рівняння замкненої системи.

Проведено моделювання роботи системи керування за допомогою програмної моделі, адекватність якої перевірено на основі визначених аналітично частот власних коливань. Результати моделювання показали, що застосування запропонованого регулятора дозволяє суттєво зменшити час закінчення перехідного процесу при аналогічному за величиною моменті керування. Результати моделювання також свідчать про те, що вибором коренів замкненої системи можна досягти зменшення перерегулювання в системі до 15%.

В подальшому дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення методів визначення кутової швидкості руху чутливого елемента в азимуті, а також аналіз можливостей побудови систем керування, які використовують інші інформативні сигнали, наприклад двокоординатного автоколіматора.

Ключові слова: гіротеодоліт, ПД-регулятор, компенсаційний зворотний зв'язок.

УДК 681.5

РОЗШИРЕНИЙ ФІЛЬТР КАЛМАНА ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ НАВІГАЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ

*Лакоза С. Л., Мелешко В. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: s.lakoza@kpi.ua*

Сучасні інерціальні навігаційні системи (ІНС) та навігаційні комплекси, в які вони входять, використовують складні комплексні алгоритми обробки даних. Первинними сигналами для їхніх алгоритмів являються сигнали з навігаційних датчиків різної природи. Добре відомо, що точність роботи алгоритмів залежить від рівня та характеру похибок даних датчиків. Зменшення впливу похибок реалізується комплексуванням датчиків та систем, що мають різний спектральний склад похибок. Найбільш ефективно це для похибок, що можуть бути описані детермінованими характеристиками, на основі яких виконується синтез фільтруючих алгоритмів та схем поєднання датчиків.

Складніше працювати з похибками, що носять випадковий характер. Хоч основні їх характеристики можна описати за допомогою апаратів спектрального та кореляційного аналізу, проте існують труднощі при синтезі алгоритмів їх подавлення. Гостро ця задача стоїть при забезпеченні високої швидкодії та якості в критичних задачах з підвищеними вимогами до точності, особливо при вирішенні автономних задач без можливостей комплексування систем різної фізичної природи, наприклад, для початкової виставки ІНС. Для первинної обробки класично застосовують аналогові чи цифрові фільтри, зазвичай низькочастотні. Проте вони призначені для зміни спектрального складу сигналу і просто придушують задані розробником області спектру всього сигналу, незважаючи на його природу. При цьому може обрізатися й складова корисного сигналу. Також варто сказати, що класичні фільтра створюють занадто великі фазові запізнення, що недопустимі в критичних задачах.

Альтернативою фільтрам є використання апарату вейвлетів або оптимальної Калманівської фільтрації. У даній роботі застосовано апарат калманівської фільтрації. Даний підхід обрано, тому що фільтр Калмана (ФК) розроблявся для оптимальної обробки стохастичних даних. Основною проблемою є те, що класичний ФК працює з похибками, що носять білошумовий характер. Для подолання цього було розроблено розширений фільтр Калмана (РФК), у математичну модель, якого було включено формуючі фільтри, що реалізують стохастичні процеси різного виду.

У роботі запропоновано визначати склад формуючих фільтрів на основі аналізу варіацій Алана та спектрального аналізу. Даний метод було застосовано до інерціальних датчиків середнього рівня точності. Також було виконано порівняння РФК з декількома низькочастотними фільтрами. РФК дозволив отримати покращення на рівні 5-10% відносно результатів фільтрів при зменшенні часу перехідних процесів до 20%.

Ключові слова: фільтр Калмана, ІНС, формуючий фільтр, варіації Алана.

УДК 729.051

КОНІЧНИЙ РУХ ІНЕРЦІАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Сапегін О. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

E-mail: sapegin_a@ukr.net

На точність безплатформової інерціальної навігаційної системи (БІНС) значною мірою впливає точність визначення поточної орієнтації зв'язаної системи координат. Підсистему БІНС, що виконує цю задачу називають безплатформною інерціальною системою орієнтації (БІСО).

Точність БІСО визначається характеристиками чутливих елементів і похибками алгоритмів. Якщо точність датчиків лімітована технологічними складнощами виробництва, то алгоритми БІСО можна проектувати відповідно до необхідних характеристик.

Відомо, що під час кінцевого руху об'єкта, коли вектор кутової швидкості описує у просторі конус з постійним кутом. При цьому спостерігається алгоритмічний дрейф БІСО, величина якого може бути значною. Кінчний рух вважається найгіршим випадком руху для навігаційної системи, тому дослідження алгоритмів БІСО при ньому, має велике значення. Значною мірою про точність роботи БІСО судять через алгоритмічний дрейф кінцевого руху.

З метою дослідження точності БІСО була побудована програмна модель з використанням кінематичного рівняння у кватерніонах. Досліджувався алгоритмічний дрейф при кінцевому русі. На рис. 1 подані результати дослідження у вигляді проєкцій кутової швидкості та дрейфу по куту.

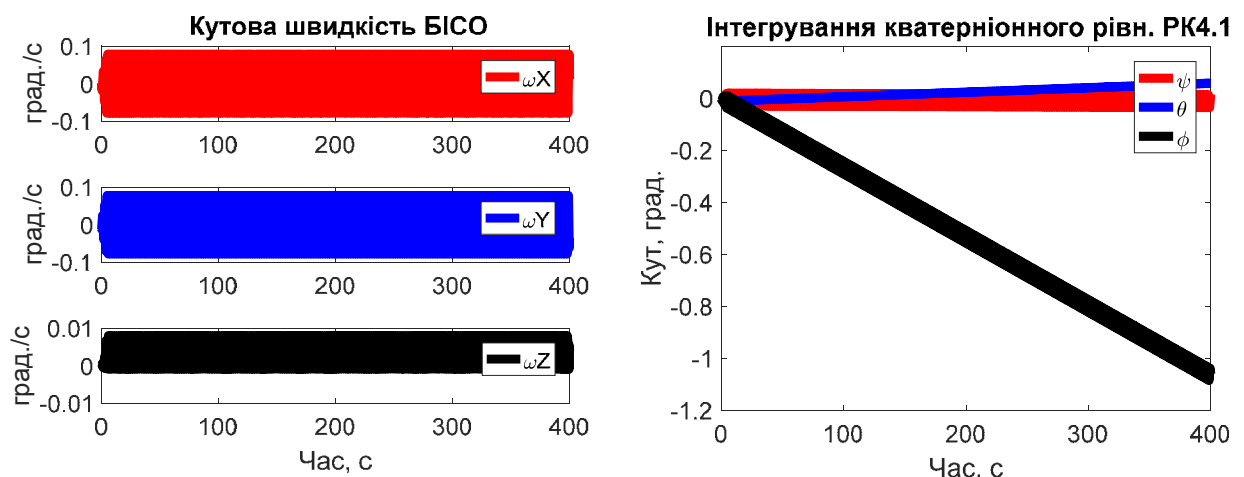


Рис. 1. Конічний рух БІСО

Ключові слова: безплатформова навігація, алгоритм інтегрування, кватерніони.

УДК 620.179

ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБРОБКИ ДІАГНОСТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Бурау Н. І., Паздрій О. Я.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: nburau@ukr.net, olgapazdri@gmail.com

Цифрова обробка зображень охоплює широкий спектр завдань, для вирішення яких застосовуються як універсальні, класичні методи, так і орієнтовані на певний клас зображень. Такі методи призначені для аналізу та класифікації зображень, дозволяючи виявляти у них складні структури, приховані закономірності та особливості.

У ході віброакустичної діагностики пошкодження роторного елемента (лопатки робочого колеса) на різних режимах експлуатації (розгін, перехідний режим, стаціонарний режим, вибіг) авіаційного ГТД було отримано вібраційні сигнали, до яких було застосовано частотно-часовий аналіз.

Результати частотно-часового аналізу за розподілом Вігнера-Вілля було представлено двомірними частотно-часовими контурними зображеннями залежних від часу та нормованої частоти спектральних оцінок. Для подальшої інтерпретації частотно-часових спектрів та виділення ознак пошкодження запропоновано використати фрактальний аналіз.

У якості фрактальної характеристики зображень використовується розмірність Мінковського (клітинна розмірність) D_F . Ця характеристика отримана методом «клітинного підрахунку»: кількість клітинок N розміром R , необхідних для покриття фрактальної множини, змінюється за ступеневим законом, $N = N_0 \cdot R^{-D_F}$, $D_F \leq D$, де N_0 – початковий розмір клітинки, D – топологічна розмірність, а D_F - розмірність Мінковського (англ. box-counting dimension).

Обробка зображень складалась з двох етапів: аналіз повного зображення та частин зображення, що відповідали певному частотному діапазону. Для кожного повного зображення та частин отримано відповідні значення D_F .

В результаті проведеного аналізу отримано значення та швидкість змінювання фрактальної характеристики D_F для частотно-часових спектрів бездефектного та дефектного роторного елемента, до того ж, найбільші відмінності D_F має на стаціонарному режимі (до 8%), зокрема, в одному з частотних діапазонів (до 35%).

Отримані результати показали ефективність фрактального аналізу для обробки діагностичних зображень.

Ключові слова: діагностика вібрацій, фрактальний аналіз, фрактальна розмірність, розмірність Мінковського, box-counting dimension.

Література

- [1] Н. І. Бурау, Л. Л. Яцко, О. М. Павловський, Ю. В. Сопілка, *Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики авіаційних двигунів*. Київ, Україна: НАУ, 2012.

УДК 681.5

НОВИЙ СПОСІБ РОЗДІЛЕННЯ КАНАЛІВ КОРЕКЦІЇ ДЛЯ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЛАТФОРМНИХ КУРСОВЕРТИКАЛЕЙ

Лакоза С. Л., Літош А. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: s.lakoza@kpi.ua

Безплатформні курсовертикалі (БКВ) – це прилади для визначення орієнтації об’єкта в опорній системі координат на основі алгоритмів, що обробляють сигнали інерціального вимірювального блоку (ІВБ). Найбільш типовий склад ІВБ включає в себе 3-ох вісний блок, що містить датчики кутової швидкості, акселерометри та магнітометри.

Практично всі існуючі алгоритми БКВ використовують для корекції всі складові вектора магнітного поля Землі (МПЗ). Це дає можливість оцінювати кути крену і тангажа по двох векторах – вектору гравітаційного прискорення та вертикальної складової МПЗ. Однак, таке використання надлишкової інформації без розділення каналів (сигнали з акселерометрів для корекції по кутах крену і тангажу, з магнітометрів – лише по куту курсу) призводить до того, що БКВ може фіксувати незрозумілі збурення по горизонтальних каналах із-за викривлення МПЗ сторонніми об’єктами (магніти, провідники зі струмом). Використання сумарного вектору напруженості МПЗ призводить до того, що після другого етапу корекції (по магнітометрах) вносяться похибки у результати корекції орієнтації на першому етапі (по акселерометрах). У таких випадках гостро постає питання можливості математичного розділення каналів корекції в алгоритмі БКВ.

На даний момент у літературі запропоновано декілька алгоритмів розділення каналів корекції. Цей напрямок активно розвивається. Деякі з підходів являються універсальними, інші вбудовуються в розроблений алгоритм. Ці нововведення призводять до збільшення обчислювального навантаження та фазових запізнь. Частина із запропонованих підходів є цікавою тільки теоретично й нераціональною для практичної реалізації.

Метою даної роботи є спрощення розрахункового алгоритму БКВ із застосуванням принципу розділення каналів корекції. Для цього було вирішено застосувати метод комплементарних фільтрів. Для спрощення розрахунків запропоновано відразу формувати вектор вимірювань з позиційних датчиків та вектор прогнозу з попереднього етапу роботи БКВ, таким чином, щоб вони містили у собі окремо інформацію про кути відносно площини горизонту та відносно напрямку на північ (курс). Для формування курсових вимірювань використовується інформація про орієнтацію об’єкта відносно площини горизонту на основі модернізованої моделі вимірювань системи. Для формування корекційного вектора використано метод Ньютона-Гауса на основі різницевого сигналу модифікованих вимірювань.

Ключові слова: БКВ, розділення каналів корекції, комплементарний фільтр.

УДК 629.735.083.2:620.179.1:004.032.26

БАГАТОКЛАСОВЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОШКОДЖЕННЯ ЗАХИСНОЇ ЄМНОСТІ З ДЕФЕКТАМИ

Бурау Н. І., Рупіч С. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

E-mail: nburau@ukr.net, serhii.rupich@gmail.com

Одним з найбільш важливих напрямків сучасної інженерії, яким займаються провідні країни світу, є розробка діагностичних систем на основі концепції Structural Health Monitoring (SHM), в яких передбачається застосування інтелектуальних інформаційних технологій на різних рівнях процесу моніторингу. Такі системи призначені для визначення поточного стану складних просторових об'єктів в умовах експлуатації та прийняття рішень щодо подальшого їх функціонування. Вплив високих зовнішніх навантажень є причиною ймовірної появи та розвитку багатоосередкового пошкодження в місцях зварних та заклепкових з'єднань, що обумовлює багатокласовість технічних станів об'єктів. Тому для вирішення задачі своєчасного виявлення технічного стану конструкцій або їх елементів було розроблено підсистему розпізнавання пошкоджень для системи багатокласової діагностики складного просторового об'єкту, що є нейромережевим класифікатором на основі ймовірної нейронної мережі. Метою даної роботи є моделювання процесу багатокласового розпізнавання для локалізації пошкодження захисної ємності з дефектами.

За результатами дослідження напружено-деформованого стану захисної ємності, в якому використано масив з 5 датчиків первинної інформації, було визначено вектор діагностичних ознак по напруженню у стінці об'єкту контролю з дефектами, та сформовано навчальні образи для побудови нейронної мережі класифікатора стану елементів конструкції багатоканальної системи діагностики. З координатами місця закріплення кожного датчика пов'язано певну діагностичну ознаку. Локалізація пошкоджуваності полягає у визначенні точки, в якій відбувається поява пошкодження та / або його розвиток.

Визначено інтервали значень параметру впливу *spread* мережі для безпомилкового багатокласового розпізнавання технічного стану захисної ємності з дефектами за багатовимірними векторами діагностичних ознак при локалізації одиничного пошкодження. Встановлено достовірність класифікації при застосуванні нейромережевого класифікатора для діагностики складних просторових об'єктів.

Ключові слова: багатокласове розпізнавання, вектор діагностичних ознак, нейромережевий класифікатор, локалізація пошкодження, параметр впливу, складний просторовий об'єкт.

УДК 531.383

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИЛАДІВ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ

*Мироненко П. С., Чаплинська Д. В., Кльосов В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: p.myronenko@kpi.ua*

При розробці систем керування перспективними рухомими об'єктами виникає необхідність використання нових підходів до їх проектування, застосування нових інформаційних технологій, створення нової елементної бази. В зв'язку з цим, в останній час в більшості практичних додатків для потреб вирішення задач орієнтації і навігації при створенні таких систем велику увагу приділяють розробці і дослідженню інтелектуальних датчиків[1].

Використання інтелектуальних датчиків систем орієнтації і навігації (СОН) дозволило перейти від схемотехнічних методів підвищення точності таких приладів до алгоритмічних за рахунок створення спеціального інформаційно – програмного оточення, яке дає змогу суттєво підвищити їх інформаційну і функціональну стійкість, безумовне розв'язання всіх задач, покладених на вимірювачі, врахувати особливості функціонування всіх складових датчика, його зв'язків, забезпечувати постійну адаптацію датчика при зміні зовнішніх і внутрішніх факторів[2].

В роботі представлено огляд використання сучасних інтелектуальних технологій на основі мікропроцесорної техніки в датчиках СОН, що дали можливість:

- підвищити точність налагодження та зменшити сумарну похибку вимірювання при роботі в реальних умовах експлуатації;
- забезпечити безперервну самодіагностику;
- реалізувати широкий набір функцій налагодження та калібровки датчиків;
- створити датчики з розширеними можливостями архівації і обробки даних вимірювань, що дає змогу виявити задані події і здійснювати різні закони регулювання;
- за допомогою математичних та алгоритмічних методів компенсувати вплив температури та вібрації на похибку вимірювального приладу та інше.

Ключові слова: датчики систем орієнтації і навігації, вимірювальна інформація, достовірність і точність інформації.

Література

- [1] А. Н. Пронин, К. В. Сапожникова, Р. Е. Тайманов, “Достоверность измерительной информации в системах управления. Проблемы и решения”, *T-Comm: 2015. Телекоммуникация и транспорт*, Том 9, № 3, с. 32 – 37, 2015.
- [2] В. В. Васильев, П. С. Чернов, «Интеллектуальные датчики, их сети и информационные системы», *Измерительная техника*, № 10, с. 3-6, 2012.

УДК 004.925.8: 519.876.5

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООСЕРЕДКОВОГО ПОШКОДЖЕННЯ РЕЗЕРВУАРА З ПАЛИВОМ

Тимченко А. І., Цибульник С. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: tsybulnik.s.a@gmail.com

Багато елементів будівель та інженерних споруд містять конструктивні та технологічні концентратори напружень, які при експлуатаційних умовах навантаження зумовлюють формування, накопичення і розвиток пошкоджень. Одними з найпоширеніших пошкоджень, що обмежують терміни безпечної експлуатації об'єктів, є поверхневі не наскрізні тріщини різної форми та орієнтації щодо конструктивних елементів. Навантаження, що виникають в елементах обшивки літаків, роторах парових турбін, трубопроводах, резервуарах для зберігання екологічно-небезпечних речовин, тощо, призводять до утворення тріщин, площина розташування яких довільно орієнтована в просторі.

Причини виникнення тріщин у конструктивних елементах об'єктів можуть бути різними. Серед найбільш поширених причин виникнення тріщин можна виділити наступні: нерівномірні деформації фундаментів; перевантаження конструкцій; температурні деформації; деформації кам'яної кладки, пов'язані з її зволоженням – повзучість, набухання, усадка; форс-мажорні обставини (пожежа, землетрус, терористичний акт, динамічний вплив транспорту, тощо).

У даній роботі проведено геометричне та імітаційне моделювання вертикального сталевих резервуара для зберігання екологічно-небезпечних речовин з багато осередковими пошкодженнями зварних швів у вигляді не наскрізних тріщин.

Геометричне моделювання проходило у САD-системі САТІА. Усього створено дві складальні одиниці з різною геометрією зварного шва. Розглянуто тільки вертикальні зварні шви, які йдуть від дна резервуара до його даху по різним траєкторіям. Кожна складальна одиниця включає наступні елементи: дно, рідина, зварний шов, суцільна стінка резервуара з вирізом, який відповідає зварному шву.

Імітаційне моделювання виконано за допомогою програмного комплексу скінчено-елементного моделювання ANSYS. Основним завданням імітаційного моделювання було визначення можливості руйнування зварного шва під дією гідростатичного тиску від палива на стінки резервуара. У результаті моделювання отримано контурні поля напружень, деформацій та переміщень стінки резервуара. Також показано місця концентрації напружень при наявності в зварних швах багатоосередкового пошкодження у вигляді тріщин.

У результаті роботи зроблено висновок про можливість руйнування резервуара від навантаження, яке обумовлюється паливом, що зберігається.

Ключові слова: імітаційне моделювання, САЕ, САD, ANSYS, резервуар вертикальний сталевий, багатоосередкове пошкодження.

УДК 004.925.8: 519.876.5

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ АПРОКСИМАЦІЇ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Лисікова К. О., Цибульник С. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: tsybulnik.s.a@gmail.com

Технічний стан об'єктів в експлуатації залежить від багатьох факторів – як зовнішніх, так і внутрішніх відносно конструкції. Серед усього різноманіття факторів найбільший вплив на технічний стан конструкцій мають дефекти виробництва та пошкодження, які матеріали конструкції отримали при транспортуванні, монтажі та експлуатації. Виробничі дефекти найчастіше ослаблюють матеріал конструкції, що робить його більш чутливим до пошкоджень різної фізичної природи, які найчастіше проявляються у вигляді тріщин або корозійних ушкоджень.

Поточний технічний стан визначає надійність конструкції та залишковий термін безпечної експлуатації, який у більшості випадків є меншим за нормативний термін експлуатації. У наш час існують об'єкти, які експлуатуються в складних умовах і знаходяться у важкодоступних місцях, тому їх капітальний ремонт або повна заміна інколи неможлива. У таких випадках є необхідність збільшити залишковий термін експлуатації. Це можна зробити за допомогою моніторингу та діагностики поточного та прогнозування майбутнього технічного стану. Якість прогнозування напряму залежить від якості вихідних даних. Так як найчастіше вихідний сигнал є функцією багатьох змінних з випадковою складовою, постає необхідність виявлення спрощеної аналітичної залежності, яка найкраще описує досліджуваний процес.

У даній роботі проведено порівняння результатів апроксимації різними методами для сигналів різної форми, щоб виявити залежність між методом та типом сигналу, який він може апроксимувати найкраще. Для цього у математичному пакеті MATLAB було змодельовано ряд ідеальних (без шуму) сигналів різної форми. За основний метод апроксимації, який необхідно вдосконалити, обрано метод найменших квадратів (МНК). Для його вдосконалення прийнято рішення розбивати сигнал на окремі відрізки, апроксимувати кожний з них окремо та об'єднати окремі відрізки у єдиний сигнал. Після об'єднання апроксимований сигнал апроксимувався знову з удвічі більшою довжиною кожного відрізка для згладження розривів у місцях їх з'єднання. Цей алгоритм дій виконувався до тих пір, поки відрізок не ставав рівним довжині вихідного сигналу. Показано, що кускова апроксимація без подальшого згладження функції у місцях розриву дає більшу точність ніж зі згладженням, а апроксимація зі згладженням по запропонованому алгоритму на момент, коли розбиття сигналу доходить до двох відрізків співпадає з апроксимацією розбитого на два відрізка вихідного сигналу за допомогою МНК. Подібні дослідження проведено для випадкових (ідеальний+шум) сигналів різної форми з різним співвідношенням сигнал/шум.

Ключові слова: апроксимація, прогнозування, MATLAB, технічний стан.

УДК 531.76

РОЗГІННІ АЛГОРИТМИ ОРІЄНТАЦІЇ У СУЧАСНІЙ МІКРОМЕХАНІЦІ

*Аксьоненко П. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: akc.petia@gmail.com*

У сучасних мікромеханічних і лазерно-оптичних системах орієнтації та навігації використовуються обчислювальний алгоритм визначення кутів орієнтації Ейлера на основі формули Міллера 1983 року. Проте Бортцем було запропоновано більш розширений варіант цього алгоритму, у якому присутній третій доданок [1].

В роботі проведено дослідження обчислювальних розгінних алгоритмів орієнтації БІСО, у яких був врахований третій доданок формули Бортца, на базі інерціального вимірювального модуля у відповідності до формули [2]:

$$\begin{aligned}\bar{\varphi}_1 &= \bar{q}_1; \\ \bar{\varphi}_2 &= \bar{q}_2 + \frac{1}{12}(\bar{q}_1 \times \bar{q}_2) + Q_2; \\ \bar{\varphi}_3 &= q_3 + \frac{1}{6}(q_2 \times q_3) - \frac{1}{24}(q_1 \times q_3) + Q_3.\end{aligned}$$

У вказаних алгоритмах аналітично реалізована поліноміальна апроксимація цифрових вихідних сигналів пристрою, що несуть у собі інформацію щодо кутів орієнтації Ейлера. Завдяки поворотному столу МПУ-1 реалізована безпроводна інерціальна навігаційна система із використанням Bluetooth разом із ІВМ, який має 9 степенів вільності. Вимірювання виконувались при 5-ти різних кутових швидкостях обертання платформи відносно певної осі чутливості модуля, яка відхилена на невеликий кут (до 5 градусів). Також виконана оцінка нульового сигналу ІВМ у статичному режимі з метою визначення СКВ значень вихідних сигналів.

Отримані результати дають зробити висновок, що розгінні алгоритми орієнтації БІСО доцільно та ефективно використовувати не лише у першо-призначених системах ВОГ чи ЛГ, але й у роботі мікромеханічних датчиків, які поширені, наприклад, у малогабаритних БПЛА та інших пристроях, які потребують вирішення задачі орієнтації та навігації.

Ключові слова: розгінні алгоритми систем орієнтації, кути Ейлера.

Література

- [1] А. П. Панов, *Математические основы теории инерциальной ориентации*. Киев, Україна: Наукова думка, 1995.
- [2] P. M. Aksonenko, V. V. Avrutov, Yu. Lazarev, P. Henaff, L. Ciarletta, “Overclocking Algorithms for SINS” in IEEE APUAVD-2017, 2017, pp. 125 – 129.