

*В.М. Краснов, к.т.н., Д.В. Смолич, магістр, М.Е. Кіреєв, магістр
(Національний авіаційний університет, Україна, м. Київ)*

РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОЗДОВЖНИХ І ПОПЕРЕЧНИХ УХИЛІВ ТА НЕРІВНОСТЕЙ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВИХ СМУГ

Дана робота присвячена розробці мобільного вимірювача поздовжніх і поперечних ухилів, а також нерівностей злітно-посадкових смуг (ЗПС), що дозволяє проводити вимірювання одночасно за двома координатами

Вимірювальний модуль є рухомою платформою, яку переміщує оператор. Як датчики ухилів використовуються акселерометри і гіроскопи, виконані за мікросхемною MEMS-технологією. Датчики розміщені на платі, яка встановлена на рухомій платформі. На цій же платі встановлений мікроконтролер, який здійснює обробку інформації від датчиків і результат вимірювання видає на рідкокристалічний індикатор, де одночасно висвічується інформація про поздовжній ухил (кут тангажа) в діапазоні вимірювання $\pm 90^\circ$ (кут. градусів) і поперечний ухил (кут крену) в діапазоні вимірювання $\pm 90^\circ$ (кут. градусів) з ціною молодшого розряду — $0,1^\circ$ (кут. градуса) або 6 (кут. мінут).

Працездатність вимірювального модуля була апробована в процесі вимірювання поздовжніх і поперечних ухилів на окремих фрагментах щойно побудованої ЗПС в міжнародному аеропорту м. Харкова.

З проведеного короткого патентно-інформаційного пошуку випливає, що в даний момент часу ведуться розробки пристроїв, які дозволяють частково механізувати процедуру вимірювання ухилів за допомогою механічних пристосувань [1], або автоматично вимірювати напрям та величину ухилу по одній координаті [2, 3] шляхом використання досягнень MEMS-технологій. Мобільних пристроїв для автоматичного вимірювання ухилів та нерівностей як злітно-посадкових смуг, так і дорожніх покриттів одночасно за двома координатами в практичному дорожньому та аеродромному будівництві, а також в експлуатаційних підрозділах аеропортів не існує. На практиці якість нових збудованих ЗПС перевіряється шляхом застосування трудомістких геодезичних методів з використанням теодоліта, тахеометра, дальноміра, нівеліра, вимірювальної лінійки для визначення ухилів, а нерівності вимірюють не менш трудомістким шляхом, вимірюванням зазорів під триметровою металевією лінійкою через кожні 10 см.

Визначення поздовжніх та поперечних ухилів (кутів крену та тангажа) в розроблюваному приладі, як вже й зазначалося, здійснюється за допомогою мікроелектромеханічних (MEMS) датчиків — акселерометра та гіроскопа. Ці датчики, при застосуванні певних алгоритмів фільтрації, при обробці інформації від них, забезпечують достатню точність у визначенні кутів [4].

Структурна схема приладу представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема приладу

Акселерометр вимірює прискорення, що діє вздовж певної осі. На Землі на всі об'єкти постійно діє прискорення вільного падіння, що обумовлене гравітацією. Таким чином, за допомогою акселерометра ми можемо виміряти значення цього прискорення (рис.2).

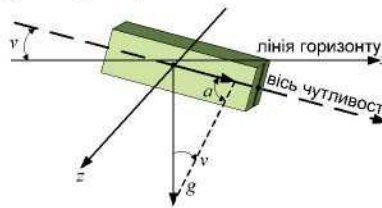


Рис. 2. Визначення кута за допомогою акселерометра (g – прискорення вільного падіння; b – прискорення, що вимірюється акселерометром; α – вимірюваний кут)

$$\text{Згідно з рис. 2 маємо } \alpha = \frac{\arcsin b}{g}.$$

Обчислення кута нахилу по осі z , перпендикулярній осі x і лежачій в горизонтальній площині, необхідний додатковий акселерометр з віссю чутливості, перпендикулярній осі чутливості, який використовується для визначення кута α .

Однак в процесі вимірювань діє не тільки сила тяжіння. Лінійні прискорення при розгоні, відцентрові прискорення при розвороті, вібрації – все це вводитиме суттєві похибки при визначенні кутового положення вищеписаним методом, тому, для запобігання цьому необхідно коригувати інформацію від акселерометрів, використовуючи інші датчики – гіроскопи.

Гіроскоп вимірює кутову швидкість обертання. Кутова швидкість є першою похідною від кута повороту за часом. Тому, інтегруючи сигнал від гіроскопа, можна отримати значення кута, на який він повернувся

$$\int \omega dt = \alpha + c$$

де ω – кутова швидкість обертання навколо відповідної осі; β – кут повороту; c – стала, початкове значення кута.

Однак, при тривалому часі використання, гіроскоп «страждає» від явища, що називається «відхід нульового значення». Це означає, що значення сигналу від гіроскопа, який знаходиться в нерухомому стані (нульове значення), зміщується відносно свого початкового значення. Це зміщення може досягати до 30° за 20 секунд, що вносить суттєву похибку у визначенні кута повороту. MEMS-акселерометрам не притаманне таке явище. Тому для отримання достовірних значень кутів крену і тангажа необхідно комплексувати інформацію, яка отримується від обох датчиків – гіроскопа та акселерометра. Значення кута, отримані від гіроскопа і акселерометра представлені на рис. 4.

Вихідними сигналами вищезгаданих датчиків – акселерометра та гіроскопа – є значення напруги, яка пропорційна прискоренню та кутовій швидкості обертання відповідно.

Для подальшої обробки інформації ця напруга подається на аналогово-цифровий перетворювач, вбудований в мікроконтролер.

В описаному приладі комплексування інформації виконується за алгоритмом оптимального рекурентного фільтра Калмана (неперервно-дискретного розширеного фільтра Калмана) [5] (результат фільтрації представлений на рис. 4)

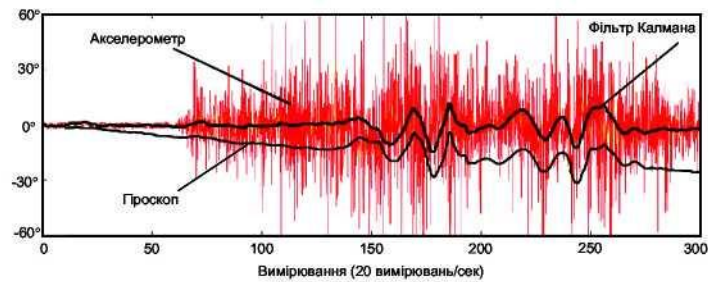


Рис. 4. Значення кута, отримані від гіроскопа і акселерометра та оцінені за допомогою фільтра Калмана

Але відомо, що фільтр Калмана достатньо складний в реалізації алгоритм і до того ж не єдиний. Тому питання доцільності використання різних алгоритмів комплексування інформації в даному випадку залишається відкритим. На разі проводяться дослідження одного із найпростіших алгоритмів комплексування інформації – комплементарний фільтр. В різних джерелах даний алгоритм називають по-різному (комплементарний фільтр, композитний фільтр, альфа-бета фільтр). Але поки результати досліджень не дали позитивного результату.

Висновки

В ході патентно-інформаційного пошуку методів та засобів вимірювання ухилив було підтверджено доцільність та перспективність проведених досліджень.

Розроблений прилад дає можливість отримати інформацію одночасно за двома координатами в діапазоні $\pm 90^\circ$ (кут. градусів) з ціною молодшого розряду $\pm 6'$ (кут. минут). Проведені дослідження фрагментів ЗПС в міжнародному аеропорту м. Харкова показали, що за допомогою модуля можна оперативно та достовірно проводити вимірювання ухилів і нерівностей як кожної плити, так і окремих її фрагментів без використання геодезичних приладів та лінійки, що значно зменшує трудомісткість вимірювань.

Розроблена макетна конструкція модуля показала, що на підґрунті модуля можливо розробляти конструкторську документацію мобільного двокоординатного вимірювача ухилів для виготовлення дослідної партії приладів, які можливо використовувати як для дослідження якості ЗПС, так і сучасних дорожніх покриттів.

Проведені експериментальні дослідження також показали необхідність подальшого удосконалення конструкції пристрою:

- накопичення інформації в флеш-пам'яті;
- розробка пристрою для обміну інформацією флеш-ноутбук;
- розробка автоматичного циклу вимірювання за наступним алгоритмом: старт → вимірювання → осереднення результатів вимірювання → запис до флеш-пам'яті результату → сигнал кінця вимірювань → старт.

Список літератури

1. Патент України №22079 А МПК G 01 В 3/02, G 01 С 9/00, 2006.
2. Патент РФ № 2142613, МКИ G 01 С 9/00, 1998.
3. Свідоцтво РФ на корисну модель № 12607, МКИ G 01 3 9 / 06, 20.01.2000.
4. *Філяшкін М. К., Рогожин В. О., Скрипець А. В., Лукінова Т.І.* Інерціально-спутникові навігаційні системи: навч. посіб. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 272 с.
5. *Балакришнан А.* Теория фильтрации Калмана: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 168 с.
6. *Мельников Д. С., Кіресв М. Е., Смолич Д. В.* Пристрій для визначення кутового положення літака в просторі на основі MEMS-акселерометра та гіроскопа. – Наука і молодь. Прикладна серія: збірник наукових праць / МОН; Національний авіаційний університет; Кулик М. С., ред. – Київ, 2010. – Вип. 10. – С. 27-30.
7. *Мельников Д.С., Кіресв М.Е., Смолич Д.В., Волков О.С., Волошенко Д.О., Самокиша Т. В., Черноус Т. М.* Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 38841— Комп'ютерна програма «Комплексування інформації, отриманої від MEMS акселерометрів та гіроскопів для визначення кутового положення літака в просторі на основі оптимального рекурсивного фільтра Калмана» – 2011.