

**І.В. Коробійчук, к.т.н.
Я.О. Пісківець, здобувач**

Житомирський державний технологічний університет

КЛАСИФІКАЦІЯ ГРАВИМЕТРІВ АВІАЦІЙНОЇ ГРАВИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Проведено класифікацію гравіметрів авіаційної гравіметричної системи, яка дає змогу досить швидко та найбільш раціональним способом обрати необхідний гравіметр для побудови авіаційної гравіметричної системи. Проведена класифікація також показала, що найбільш перспективними гравіметрами для використання в складі авіаційної гравіметричної системи є гіроскопічні.

Постановка проблеми. Для вимірювання аномалій гравітаційного поля Землі у важкодоступних районах земної кулі використовується авіаційна гравіметрична система [1] (АГС). За допомогою АГС гравітаційну інформацію можна здобути набагато швидше та з меншими витратами, а чутливим елементом АГС є гравіметр. Точність наземних та морських засобів зростає, тому актуальним є дослідження характеристик ряду гравіметрів, що розроблені та використовуються для авіаційних гравіметричних вимірювань у СНД і США.

На сьогодні відомі окремі описи конструкцій і технічні характеристики ряду гравіметрів, що застосовуються як гравіметри авіаційної гравіметричної системи (АГС). Однак узагальненого порівняльного аналізу характеристик всіх відомих авіаційних гравіметрів у літературі немає [1–9]. Отже необхідно:

- порівняти характеристики ряду гравіметрів, що розроблені й використовуються для авіаційних гравіметричних вимірювань у СНД і США;
- показати, що можна суттєво підвищити точність вимірювань прискорення сили ваги за допомогою гіроскопічних гравіметрів нових типів.

Аналіз досліджень. В СНД авіаційні гравіметричні вимірювання здійснювались переважно з кварцовим сильнодемпфированим гравіметром ГАЛ-С і струнним гравіметром ГС; у США — акселерометрами типу Bell BGM-2, Bell VM IX, Autonetics (VM-4G, VM-7G), Arma (Arma Lot D, Arma D4E); PIGA (PIGA-16, PIGA-25) [2]. Випробування показали можливість проведення вимірювання Δg з похибкою близько 10 мГл за несприятливих і близько 6 мГл — за сприятливих метеорологічних умов [3].

В роботах [2] Безвесільної О.М. досліджено можливість і доцільність використання як гравіметра АГС гіроскопічного вимірювача прискорень. Похибка вимірювання Δg АГС на базі гірогравіметра була [2] 8 мГл. В роботах Безвесільної О.М. і Литвиненко П.Л. обґрунтовано доцільність використання як гравіметра АГС однокільцевого динамічно настроюваного гіроскопа (ДНГ), похибка вимірювання Δg АГС була 5 мГл.

Що ж стосується узагальненого порівняльного аналізу характеристик всіх відомих авіаційних гравіметрів, то у відомій автору літературі [1–8 та ін.] такі завдання не вирішувались.

Мета роботи – дати узагальнюючу класифікацію існуючих гравіметрів, що працюють у складі АГС та ввести критерії вибору гравіметра при розробці таких систем.

Основна частина. Гравіметри можна спрощено представити у вигляді пристроїв, що мають вантаж масою m , розташований на деякій відстані l від осі чутливості. Внаслідок дії сигналу прискорення сили ваги на вході приладу виникає маятниковий момент. У табл. 1 наведено методи компенсації маятникового моменту й основні чинники, що впливають на стабільність показників гравіметрів (табл. 2), що дає змогу легко порівняти гравіметри та обрати потрібний тип приладу.

Розглянемо основні переваги й недоліки гравіметрів. Кварцові сильнодемпфировані гравіметри типу ГАЛ-С показали добрі результати в разі морських гравіметричних зйомок, коли час осереднення може бути достатньо великим і відлік можна здійснювати після того, як маятник досягає положення статичної рівноваги. ГАЛ-С є фільтром, що пропускає корисний низькочастотний сигнал прискорення сили ваги й приглушує високочастотний сигнал перешкоди. Однак, поряд із цілою низкою переваг, гравіметр ГАЛ-С має суттєвий недолік: його швидкодія недостатня для літакових вимірювань (із сильнодемпфированим гравіметром можна досягти швидкого відліку, якщо не чекати повного зупинення маятника і реєструвати як миттєве положення, так і швидкість його переміщення, яка вимірюється з більшими похибками).

Таблиця 1

Основні чинники, що впливають на стабільність показів гравіметрів у складі АГС

Гравіметр	Метод компенсації маятникового моменту	Чинники, що впливають на стабільність результатів вимірювань
ГАЛІ-С	Зміна моменту закручування горизонтальної пружної нитки, що втримує горизонтальний маятник	Стабільність пружних властивостей пружної нитки Ретельність виконання операції кріплення пружної нитки
Струнний	Зміна натягу пружної струни	Те саме
Arma Arma LotD Arma D4E	Зміна натягу двох пружних струн	Те саме
Autonetic VM-4G VM-7G	Поворот постійного магніту відносно маятникового ротора навколо вихідної осі приладу	Стабільність магнітних властивостей постійного магніту. Сталість кінетичного моменту ротора
Bell Bell BGM-2 Bell VM IX	Взаємодія радіального магнітного поля, що утворюється двома постійними магнітами симетричної конструкції, та контрольного струму, що проходить через котушку чутливого елемента	Стабільність магнітних властивостей постійного магніту. Стабільність залежності контрольного струму від питомої сили. Сталість коефіцієнта підсилення.
PIGA PIGA-16 PIGA-25	Поворот платформи на кут, достатній для утворення гіроскопічного моменту, що врівноважує маятниковий момент по вхідній осі приладу	Сталість кінетичного моменту

Набагато зручнішими, з огляду на швидку і точну цифрову реєстрацію прискорень, на літаку є струнні гравіметри, розроблені у ВНДІ Геофізики. Їхні переваги: малість сталої часу, що важливо при вимірюваннях на літаку; майже необмежений діапазон вимірювання вхідних величин без перебудови приладу; частотно-модульований вхідний сигнал. Однак ГС мають і недоліки: за умов літакових вібрацій можуть виникати великі систематичні похибки; при деяких частотах вібрації спостерігають різкі невраховувані відхилення, пов'язані з резонансами окремих елементів ГС; високий динамічний температурний коефіцієнт, зумовлений вертикальними конвекційними потоками, які виникають у рідині внаслідок суттєвої зміни температури; піддаються барометричному ефекту — явищу, пов'язаному з деформаціями стінок посудини з демпфуючою рідиною під дією атмосферного тиску.

Як було зазначено раніше, дослідження, проведені в США, показали, що перспективнішими для застосування в АГС є прилади типу гіроскопічного інтегратора лінійних прискорень ГЛП (PIGA-16, PIGA-25), оскільки вони мають цілу низку суттєвих переваг над рештою гравіметрів.

Стабільність показників гравіметра типу ГЛП визначається сталістю кінетичного моменту ротора гіроскопа, яка, в свою чергу, визначається здебільшого стабільністю частоти напруги живлення. Забезпечити сталість кінематичного моменту менш складно, ніж сталість деяких параметрів, що визначають стабільність роботи інших типів гравіметрів (табл. 2).

Гравіметр ГЛП має широкий діапазон вимірювання. Застосування в приладі зворотного зв'язку дає змогу досягти сталості нуля. Тертя в осі поплавка зведено до мінімуму, щоб забезпечити високу чутливість ньютонметра до лінійних прискорень об'єкта. Дійсно, для приладу типу гіроінтегратора лінійних прискорень мінімальне лінійне прискорення W_{\min} , виміряне приладом, визначається найменшим моментом сил інерції mlw_{\min} , який перевищує момент сил тертя по осі обертання гірокамери поплавка, тобто W_{\min} можна знаходити з умови:

$$mlw_{\min} \geq M_T, \quad (1)$$

або

$$w_{\min} \geq \frac{M_T}{ml}.$$

Таблиця 2

Характеристики гравіметрів АГС

Гравіметр	Дрейф за 12 год, мГл	Поріг чутливості, мГл	Маса, кг	Габаритні розміри, 10 ⁻² м	Маятниковість 10 ⁻⁵ кг·м	Спеціальні вимоги
L-R-S	1	0,1	–	–	–	–
Bell BGM-2	2	0,2	2,24	10x15x20	–	–
Bell VM-IX	2	0,2	–	–	–	–
Autonetic VM-7G	3	0,2	–	–	24	–
Arma D4E	2	0,1	–	23x23	–	ТК
Arma LotD	2	0,1	–	7x14	–	ТК
PIGA-25	1	0,1	1,6	13x15	25	АС
ГАЛ-С	2	0,2	10	30x30x74	–	ТК
Струнний	1	0,1	6	5,2x7	–	ТК

Оскільки в ГІЛП з поплавковим підвісом остаточний момент сил сухого тертя дуже малий, то з формули (1) видно, що подібний прилад має вищу чутливість до прискорень, ніж решта "сухих" гравіметрів.

Гіроінтегратор за принципом роботи є інерційним приладом, його дія базується тільки на законах інерції і не потребує ні зв'язку із зовнішнім середовищем, відносно якого відбувається рух літака, ні отримання будь-якої зовнішньої інформації.

Втім прилад типу PIGA інтегрує корисний сигнал. Його вихідний сигнал у вигляді кутової швидкості повороту гіроскопа навколо осі зовнішньої рамки пропорційний прискоренню сили ваги. Такий гравіметр потребує застосування пристроїв для вимірювання кутової швидкості повороту гіроскопа, які вирізняються малими габаритними розмірами, невеликим моментом зворотної дії, низьким порогом чутливості, великим діапазоном вимірюваних швидкостей. На жаль реалізація таких пристроїв є складним технічним завданням, яке можна вирішити шляхом подорожчання приладу і як правило зниженням його надійності. Крім того, такий акселерометр, використовуваний як гравіметр, має одну вісь чутливості, паралельну осі обертання гіроскопа відносно основи, і вимірює проекцію прискорення сили ваги на цю вісь. Визначення напрямку гравітаційної вертикалі потребує дуже точної стабілізації осі чутливості приладу в напрямку гравітаційного поля Землі. У районах гравітаційних аномалій гравітаційне поле викривляється, що спричиняє додаткові методичні похибки. Зазначимо, що всі згадані раніше гравіметри також є однокомпонентними. Обертання гіроскопа PIGA навколо осі зовнішньої рамки зумовлює появу різного роду збурюючих моментів, наприклад моментів сил сухого тертя в опорах; моменту тяжіння токопідводів; моменту зворотної дії електричного датчика кута тощо.

Для того, щоб усунути вказані недоліки і побудувати гравітаційну вертикально запропоновану схему гірогравіметра, апробованого при авіаційних гравіметричних вимірюваннях Безвесільною О.М. (кафедра приладобудування НТУУ "КПІ") [2].

В роботі Литвененка запропонований та досліджений однокільцевий ДНГ. Цей прилад має такі основні переваги перед іншими типами аерогравіметрів: значно менші габарити та вагу, більшу точність.

Але є можливість значно підвищити точність (1 мГл) та швидкодію гравіметрів на базі ДНГ, використовуючи двокільцевий ДНГ [9].

Висновки. Проведена класифікація авіаційних гравіметричних систем дала змогу найбільш раціональним способом обрати за наведеними характеристиками необхідний гравіметр для побудови авіаційної гравіметричної системи. А також проведена класифікація авіаційних гравіметричних систем показала можливість використання гіроскопічних гравіметрів, особливо двокільцевих динамічно настроєваних гравіметрів, які відрізняються більшою точністю та меншими габаритами, ніж відомі.

Тому в подальшому необхідно дослідити характеристики двокільцевого динамічно настроєваного гравіметра, а також дослідити можливість підвищення точності вимірювання авіаційною гравіметричною

системою аномалій гравітаційного поля.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Безвесільна О.М., Коробійчук І.В.* Сучасні тенденції розвитку авіаційних гравіметрів // Восточно-європейський журнал передових технологій. Информационные технологии и системы управления. – 2006. – № 1–2 (19). – С. 137–139.
2. *Безвесільна О.М.* Вимірювання прискорень: Підручник. – К.: Либідь, 2002. – 350 с.
3. *Безвесільна О.М.* Вимірювання гравітаційних прискорень: Підручник. – Житомир, 2002. – 264 с.
4. *Мудрецова Е.Н.* Гравиразведка: Справочник геофизика. – М.: Недра, 1990. – 456 с.
5. *Багромаяц В.О. і др.* Аэрогравиметрические измерения с борта самолета // Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1986. – Вып. 105. – С. 105–109.
6. *Делинджер Питер.* Морская гравиметрия. – М.: Недра, 1993. – 312 с.
7. *Одинцов А.А.* Теория и расчет гироскопических приборов. – К.: Выща шк., 1985. – 392 с.
8. *Пельпор Д.С., Матвеев В.С., Арсентьев В.Д.* Динамически настраиваемые гироскопы: Теория и конструкция. – М.: Машиностроение, 1998. – 264 с.
9. *Безвесільна О.М., Коробійчук І.В., Пісківець Я.О.* Авіаційна гравіметрична система з двокільцевим динамічно настроюваним гравіметром // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2008. – № 1. – С. 48–51.

КОРОБІЙЧУК Ігор Вацлавович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гравіметрія;
- гравіметричні системи;
- авіаційні гравіметричні системи.

ПІСКІВЕЦЬ Яна Олександрівна – здобувач кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гравіметричні системи.

Подано 23.10.2008

Коробійчук І.В., Писківець Я.О. Класифікація гравіметрів авіаційної гравіметричної системи
Коробійчук И.В., Пискивец Я.О. Классификация гравиметров авиационной гравиметрической системы
Korobijchuk I.V., Piskivets Y.O. Classification gravimeter aviation gravimetrical systems

УДК 531.383

Классификация гравиметров авиационной гравиметрической системы / И.В. Коробийчук, Я.О. Пискивец

В работе проведено классификацию гравиметров авиационной гравиметрической системы, которая позволяет довольно быстро и наиболее рациональным способом выбрать необходимый гравиметр для построения авиационной гравиметрической системы.

УДК 531.383

Classification gravimeter aviation gravimetrical systems / I.V. Korobijchuk, Y.O. Piskivets

In work it is executed classification gravimeter aviation gravimetrical systems which allows rather quickly and the most rational way to choose necessary gravimeter for construction aviation gravimetrical systems.