

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **НАЗАРЕНКО Наталії Миколаївни**

«Двоканальний п'єзоелектричний гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи»,

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин

Актуальність теми дисертаційної роботи

У ХХІ сторіччі актуальним є детальне вимірювання та вивчення гравітаційного поля Землі у важкодоступних районах. Ця вимірювальна інформація необхідна у багатьох наукових дослідженнях, пов'язаних з реалізацією практичних задач інженерної геології, археології, геодезії, геофізики, розвідки корисних копалин, картографії, прогнозу землетрусів тощо. Вимірювальна інформація про гравітаційне поле Землі також використовується в космічній і авіаційній техніці (корекція орбіт космічних літальних апаратів, систем інерціальної навігації літаків, ракет).

Основу отримання цієї інформації становлять вимірювання прискорення сили тяжіння (ПСТ), для яких створюються засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) для визначення основних параметрів гравітації.

В існуючих на сьогоднішній день авіаційних гравіметричних системах (АГС) точність вимірювань є недостатньою для практичних задач і характеризується похибкою (2...10) мГал. Швидкодія вимірювань та обробки вимірювальної інформації у існуючих гравіметрів також є незадовільною, результати вимірювань обробляються на Землі протягом декілька днів. Більшість із них є неавтоматизованими та одноканальними. Існуючі гравіметри вимірюють разом із прискоренням сили тяжіння (ПСТ) g вертикальне прискорення $\ddot{h}$. Високоточне визначення $\ddot{h}$ та виключення його з остаточних результатів вимірювань g є складною науково-технічною задачею і

вимагає застосування інших підходів до методики вимірювань та нових схемотехнічних рішень, наприклад, використання методу двоканальності.

Всі ці проблеми обумовлюють актуальність теми дисертації. Тому в дисертації забезпечено підвищення точності та швидкодії вимірювання ПСТ шляхом створення нового двоканального п'єзоелектричного гравіметра (ДПГ) автоматизованої АГС.

У дисертаційній роботі розроблено та досліджено новий ДПГ, який дозволив підвищити точність вимірювань у 2 рази та швидкодію обробки результатів більш ніж у 10 разів порівняно з відомими гравіметрами АГС.

Дослідження та розробки, узагальнені у дисертаційній роботі, виконувались у рамках науково-дослідної роботи № 2311п “Новий прецизійний чутливий елемент стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки” (номер держреєстрації 0120U102248), що виконувалася згідно договору між кафедрою приладобудування Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” та Міністерством освіти і науки України. Здобувачеві в звіті з цієї роботи належить розділ 5, в якому розглянуто нові алгоритми функціонування та нові методики експериментальних досліджень, а також новий алгоритмічний метод зменшення динамічних та інструментальних похибок ДПГ.

Мета дослідження: підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння (ПСТ) та швидкодії обробки отриманих результатів, шляхом використання нового двоканального п'єзоелектричного гравіметра (ДПГ) автоматизованої авіаційної гравіметричної системи (АГС).

Об'єкт дослідження: процес вимірювання ПСТ шляхом використання ДПГ автоматизованої АГС.

Предмет дослідження: новий ДПГ автоматизованої АГС.

Наукова новизна дисертаційної роботи підтверджується такими основними науковими результатами:

- отримала подальший розвиток розробка та дослідження нового ДПГ автоматизованої АГС більшої точності (похибка складає 0,5 мГал) у порівнянні з відомими гравіметрами та АГС (похибка яких складає від 2 мГал до 10 мГал);

- розроблено математичну модель АГС для вимірювання аномалій ПСТ, яка відрізняється від відомих додатковими поправками, похибка від неврахування яких недопустимо велика (3,67 мГал). Отримано рівняння руху, визначено блок-схеми всіх основних компонентів АГС: системи стабілізації, навігації та визначення аномалій ПСТ;

- описано структурну схему перетворення сигналу про ПСТ у п'єзоелементі нового ДПГ та запропоновано спосіб компенсації вхідного напруження шляхом введення від'ємного зворотного зв'язку на основі зворотного п'єзоефекту. Визначено коефіцієнт передачі п'єзоелектричного елемента (ПЕ), виготовленого із ніобату літію, який складає 1,682;

- для забезпечення потрібної точності вимірювань ПСТ в АГС обчислено допустимі значення похибок визначення параметрів польоту літального апарату: швидкість – похибка 0,05 м/с, курс – 1,43 кут. хв., широта – 0,5 кут.хв., висота – 3,3 м, вертикальна швидкість – $0,5 \cdot 10^2$ м/с, шлях – 1,5 м.

- розраховано допустиму похибку стабілізації осі чутливості ДПГ у положення вертикалі, що складає 5 кут.хв. для похибки вимірювань 0,5 мГал та запропоновано шляхи її зменшення за рахунок використання методів високоточного виставлення осі чутливості ДПГ;

- визначено склад та структуру похибок ДПГ, розглянуто та розраховано основні із них. Інструментальна похибка вимірювання не перевищує 0,1 мГал, а похибки, що викликані способом кріплення до основи, шумами різного походження та зміщенням нуля-пункту, можна сповна ліквідувати за допомогою конструктивних особливостей ДПГ;

- на основі рівняння динаміки ДПГ розраховано його передатну функцію для аналізу на стійкість. Встановлено, що вона має вигляд коливальної ланки;
- за критеріями Гурвіца та Найквіста визначено, що ДПГ є стійким.

Наведені у дисертаційній роботі результати теоретичних і експериментальних досліджень є внеском у теорію побудови нових типів гравіметрів авіаційних гравіметричних систем з підвищеною точністю та швидкодією. Рішення, що були запропоновані у дисертаційній роботі, є новими і розширюють та доповнюють основи теорії побудови вимірювальних перетворювачів з цифровою обробкою інформації.

Практичне значення одержаних результатів:

- обґрунтовано доцільність використання нового ДПГ автоматизованої АГС більшої точності (похибка не перевищує 0,5 мГал), ніж у відомих на сьогодні гравіметрів (з похибкою вимірювань від 2 мГал до 10 мГал);
- створено лабораторну установку для експериментальних досліджень ДПГ;
- розроблено методику і алгоритм досліджень високоточних авіаційних вимірювань прискорення сили тяжіння.

Всі наведені результати дозволяють підвищити точність вимірювань g у 2 рази (похибка не перевищує 0,5 мГал) та швидкодію обробки результатів у 10 разів у порівнянні з відомими авіаційними гравіметрами з похибкою вимірювань (2...10) мГал.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес на кафедрі приладобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» при викладанні навчальних дисциплін «Наукові дослідження в галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій», «Планування експерименту» та в процесі дипломного та курсового проектування за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», а також у

дослідженнях за тематикою Публічного акціонерного товариства «Науково-виробниче об'єднання «Київський завод автоматики».

Оцінка змісту дисертації: у вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, можливість та доцільність використання в якості гравіметра АГС нового ДПГ, сформульовано мету і задачі досліджень дисертації, наукову новизну, практичне значення отриманих результатів. Наведено основні наукові та практичні результати, які отримано у дисертаційній роботі. Визначено структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-технічних джерел за темою досліджень та аналіз сучасних методів вимірювання ПСТ. Визначено методи та засоби визначення ПСТ різними гравіметрами. Обґрунтовано послідовність розробки ДПГ для АГС.

У другому розділі розроблено математичну модель ДПГ та розраховано його основні конструктивні та електричні параметри.

У третьому розділі розроблені блок-схема автоматизованої АГС із ПГ для вимірювання аномалій ПСТ та схема стабілізації осі чутливості ПГ. Проаналізовано методичні похибки автоматизованої АГС. Визначено основні похибки нового ПГ та запропоновано шляхи їх зменшення.

У четвертому розділі перетворено диференціальні рівняння руху ДПГ зі змінними коефіцієнтами на рівняння “машинного” вигляду. Розроблено алгоритм розв’язання диференціального рівняння руху ДПГ за допомогою ЕОМ. Досліджено за допомогою ЕОМ вплив частот ω і амплітуд w_a, w_b , збурюючих вібраційних прискорень для найнесприятливіших резонансних випадків: $\omega = \omega_0$, $\omega = 2\omega_0$, $\omega = 3\omega_0$, $2\omega = \omega_0$, $3\omega = \omega_0$, де ω_0 – частота власних коливань ДПГ, ω - частота збурень. Досліджено роботу АГС з новим ДПГ в екстремальних умовах з використанням нейронних мереж.

У п'ятому розділі було створено експериментальну установку для дослідження основних характеристик ДПГ та обґрунтовано можливість його застосування у складі АГС. Наведено конструктивний та аналітичний описи

кожної складової експериментальної установки. Розроблено програмне забезпечення для відображення результатів досліджень на ЕОМ. Проведено експериментальні дослідження та побудовано графіки отриманих залежностей. Виведено рівняння руху ДПГ, в якому враховано основні фактори, що впливають на проведення авіаційних гравіметричних вимірювань. Викладено методику і рекомендації з проведення випробувань ДПГ у складі АГС.

Отримані результати експериментальних досліджень підтвердили результати чисельного моделювання та аналітичних розрахунків. Також визначено основні метрологічні характеристики ДПГ.

У висновках сформульовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що представлені у дисертаційній роботі.

У додатках наведено акти впровадження результатів у навчальний процес та промисловість, текст програми моделювання на ЕОМ.

Повнота викладення основних результатів дисертації: за темою дисертаційної роботи опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 3 статті у наукових фахових виданнях (з них 2 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у виданнях іноземних держав), 4 матеріали доповідей міжнародних науково-технічних конференцій, які у повному об'ємі висвітлюють основні результати дисертаційної роботи.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи та автореферату

1. Сучасний стан авіаційної гравіметрії та розробок п'єзоелектричних чутливих елементів розглянуто в цілому в першому розділі, але у наступних розділах замало конкретних порівнянь з результатами досліджень інших науковців.

2. В розділі 3 на стор. 125 в першому абзаці вказано, що «П'єзоелементи обох каналів є конструктивно ідентичними...», а в останньому абзаці констатується, що «Інструментальні похибки виникають від впливу

залишкової неідентичності конструкцій однакових інерційних мас та п'єзопластин...». Це дійсно є властивості, притаманні саме двоканальному п'єзоелектричному гравіметру. В той же час в авторефераті на стор. 7, другий абзац, помилково стверджується, що завдяки наявності другого каналу забезпечується відсутність цієї складової інструментальної похибки у вихідному сигналі двоканального п'єзоелектричного гравіметра.

3. В підрозділі 3.9 розглянуто та обчислено показники стійкості двоканального п'єзоелектричного гравіметра за його передатною функцією, а в підрозділі 4.1 здійснено моделювання резонансних режимів роботи цього гравіметра на основі рівняння його руху. Вважаю, що доцільно і цікаво було б розглянути взаємозв'язок та порівняти результати, отримані в підрозділах 3.9 та 4.1.

4. В розділі 4 на стор. 153 наведено фразу «Для високоточних АГС використання нейронних мереж ... дозволяє врахувати нелінійності у перетворенні вимірювань», яка, на мій погляд, є некоректно сформульованою.

5. В розділі 4 на рис. 4.8, стор. 154, присутній блок «Алгоритм навчання» для штучної нейронної мережі. Але в тексті розділу не розкрито зміст алгоритму навчання, що може мати різну збіжність та впливати на показники швидкодії п'єзоелектричного гравіметра.

6. Не наведено кількісні характеристики покращення показників функціонування двоканального п'єзоелектричного гравіметра в складі авіаційної гравіметричної системи при впровадженні матеріалів дисертації в промисловість.

7. Здобувачем не наведено докладних пояснень щодо можливості та особливостей практичного використання створеної лабораторної установки для вимірювань прискорення сили тяжіння авіаційною гравіметричною системою.

Надані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаних досліджень, їх актуальності, наукової новизни, практичної цінності, обґрунтованості та достовірності.

Висновок

Дисертаційна робота «Двоканальний п'єзоелектричний гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи» є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-технічну задачу – підвищення точності та швидкодії вимірювань прискорення сили тяжіння шляхом використання нового п'єзоелектричного гравіметра.

Дисертаційна робота «Двоканальний п'єзоелектричний гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи» відповідає вимогам п. 9, 11 постанови Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567 «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», а її автор – НАЗАРЕНКО Наталія Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – Прилади та методи вимірювання механічних величин.

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
Державного університету
«Житомирська політехніка»,
д.т.н., професор

Ю.О. Подчашинський

