

**О.М. Безвесільна, д.т.н, проф.**  
*Національний технічний університет України "КПІ"*  
**Цимбал Н.В., III курс, гр. ПМ-02, ПБФ**  
*Національний технічний університет України "КПІ"*

### **ОЦІНКА СТАНУ ГІРОГРАВІМЕТРА АГС З ЦИФРОВОЮ ОБРОБКОЮ ІНФОРМАЦІЇ.**

Необхідність підвищення точності та швидкодії гіроскопічних гравіметрів АГС з автоматичною обробкою інформації зумовлена потребою в розробці ефективних і простих у реалізації алгоритмів оцінки стану гірогравіметра.

За останні роки з'явилась багато наукових праць, присвячених розробці й дослідженню модифікацій оптимальних і субоптимальних алгоритмів фільтрації дискретного сигналу триступеневого неврівноваженого гіроскопа. Оскільки завдання оптимальної фільтрації є завданням оцінки стану, сформульоване в стохастичних термінах, в подальшому будемо використовувати термін «оцінювання стану». Враховуючи взаємозв'язок методів найменших квадратів (МНК) і оптимального фільтру Калмана (ФК), вважаємо, що МНК – це найпростіший підхід до оцінки стану, а ФК – єдиний оптимальний алгоритм оцінки. Решта алгоритмів оцінки є проміжними між МНК і ФК, тому в подальшому будемо досліджувати тільки ці два алгоритми.

Метою роботи є вирішення проблеми розробки теорії похибок оцінки стану гірогравіметра з цифровою обробкою інформації.

Для цього треба:

- 1) розробити алгоритми оцінки стану гірогравіметра при орієнтації його вісі чутливості на північ і на південь (стану стійкої та нестійкої рівноваги) на базі МНК і ФК;
- 2) дослідити похибки оцінки, встановити їх залежність від параметрів збурення, початкових умов руху гіроскопа – чутливого елемента (ЧЕ);
- 3) проаналізувати похибки оцінки, зумовлені чутливістю алгоритмів оцінки до невідповідності прийнятої моделі й реального вихідного сигналу гірогравіметра;
- 4) дослідити вплив викривлення закону руху гірогравіметра, який спостерігається, типовими перешкодами та шумами датчика кута (ДК) каналу вимірювання;
- 5) провести порівняльний аналіз точності і швидкодії алгоритмів обробки інформації за методами МНК та ФК.

У відомих роботах при дослідженні точності гірогравіметра не було враховано вплив похибок гірогравіметра, спричинених нелінійними викривленнями траєкторії руху гіроскопа; нерівністю нулю показника затухання прецесійних коливань через дію на гіроскоп моментів типу в'язкого тертя, неізохронністю прецесійних коливань; розбігом колової частоти прецесійних коливань, яка використовується в алгоритмах оцінки, з частотою прецесійних коливань гіроскопа; перешкодами, які викривлюють закон руху гіроскопа. Водночас вплив цих похибок, якщо його не враховувати, може бути неприпустимо великим (10...30 мГл). Тому у цій роботі постає завдання підвищення точності й швидкодії вимірювання гірогравіметра АГС через усунення зазначених похибок.

Для вирішення поставленої проблеми застосовано гіроскопічний гравіметр з розміщенням на осі зовнішньої рамки ДК. До виходу ДК підключено додаткову ЦОМ. Вихідний сигнал гірогравіметра, який знімається з ДК, подається на вхід ЦОМ. Цифрова обчислювальна машина визначає за розробленими в цій роботі алгоритмами значення похибок і здійснює автоматичну компенсацію цих похибок у вихідному сигналі гірогравіметра. Потім уточнений сигнал гірогравіметра нарівні з сигналами від інших підсистем АГС використовується для обчислення  $\Delta g$  відповідно до розробленого алгоритму. Проведені експериментальні дослідження гірогравіметра АГС підтвердили доцільність використання розроблених алгоритмів оцінки (похибка вимірювань не перевищувала 0,1 мГл).

Висновки:

1. Розроблено алгоритм оцінки стану гірогравіметра за умов орієнтації його осі чутливості на північ і на південь за МНК і ФК.

Пряме цифрове моделювання і результати експериментальних досліджень алгоритмів оцінки цілком підтвердили формули похибок, одержаних аналітично. Порівняльне цифрове моделювання МНК і ФК показало адекватність алгоритмів. Виявлено, що похибки оцінки стану гірогравіметра у разі північної та південної орієнтації зумовлені такими основними чинниками:

- $\Delta R_1^N, \Delta R_1^S$  – нелінійними викривленнями траєкторії руху гіроскопа через апроксимацію  $\sin \alpha \approx \alpha$ ;
- $\Delta R_2^N, \Delta R_2^S$  – нерівністю нулю показника затухання прецесійних коливань через дію на гіроскоп моментів типу в'язкого тертя;
- $\Delta R_3^N, \Delta R_3^S$  – неізохронністю прецесійних коливань;

$\Delta R_4^N, \Delta R_4^S$  – розбіжністю колової частоти прецесійних коливань, яку використовують в алгоритмах оцінки, з частотою прецесійних коливань гірогравіметра;

$\Delta R_5^N, \Delta R_5^S$  – перешкодами, що викривлюють закон руху гірогравіметра.

2. Проведено аналіз похибок оцінки. В разі орієнтації гірогравіметра на північ похибки оцінки  $\Delta R_1^N - \Delta R_4^N$

зменшуються при збільшенні часу спостереження інформації, а в разі орієнтації гірогравіметра на південь похибки оцінки  $\Delta R_1^S - \Delta R_4^S$  зростають. Похибки  $\Delta R_{1,3}^{N,S}$  пропорційні кубу амплітуди прецесійних коливань  $A_0$  і кубу полярного радіуса початкових умов  $\rho$ . Похибки  $\Delta R_2^N, \Delta R_4^N, \Delta R_2^S, \Delta R_4^S$  пропорційні першому степеню  $A$  і  $\rho$  відповідно. Знайдено час спостереження інформації, коли похибки оцінки  $\Delta R_1^N - \Delta R_4^N$  в разі орієнтації гірогравіметра на північ перетворюються на нуль при довільних фазах коливань. Знайдено оптимальні, в розумінні перетворення на нуль похибок оцінки  $\Delta R_i^N = \Delta R_i^S = 0$  ( $i = 1,4$ ), співвідношення часу спостереження інформації та початкових умов руху гірогравіметра. Досліджено впливи викривлень спостережуваного закону руху гірогравіметра типовими перешкодами і шумами ДК каналу вимірювання. Показано, що перешкода типу лінійного дрейфу показань гірогравіметра спричиняє похибки  $\Delta R_{51}^N, \Delta R_{51}^S$ , пропорційні часу спостереження інформації, причому  $\Delta R_{51}^N$  і  $\Delta R_{51}^S$  мають протилежні знаки. Перешкода експоненціального типу зумовлює похибки  $\Delta R_{52}^N, \Delta R_{52}^S$ , які монотонно зменшуються при збільшенні часу спостереження інформації. Зменшення похибки тим швидше, чим менша стала часу експоненти. Досліджено похибки  $\Delta R_{53}^N, \Delta R_{53}^S$ , спричинені гармонічними перешкодами, і шумом ДК  $\Delta R_{54}^N, \Delta R_{54}^S$  (у вигляді білого шуму). Встановлено, що низькочастотна перешкода, частота якої сумірна з частотою прецесійних коливань, слабо приглушується алгоритмами оцінки для часу спостереження інформації  $T_c \geq 0,15T_0$ , а при  $T_c < 0,15T_0$  підсилюється. Високочастотна гармонічна перешкода, частота якої вища за частоту прецесійних коливань у 100 раз більше, а також випадкова перешкода типу білого шуму ефективно фільтруються алгоритмами оцінки.

3. Запропоновано і досліджено гірогравіметр нового типу, який відрізняється від відомих тим, що дає змогу підвищити точність вимірювань і швидкодію більш ніж у два рази за рахунок застосування автоматичної компенсації похибок за розробленими алгоритмами оцінки стану гірогравіметра.

4. Встановлено, що час спостереження інформації, потрібний для приглушення похибок оцінки, має бути не меншим, ніж 3%.

5. Експериментально підтверджено доцільність використання розроблених алгоритмів автоматичної компенсації похибок гірогравіметра.