

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АЭРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЫТЫХ РЕСУРСОВ

Каршаков Е.В.¹, Мойланен Е.В.²

¹ – Институт проблем управления РАН, Москва,

² – Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, Москва.

В докладе пересмотрен подход к обработке данных магнитометрии. Исходя из ориентационной погрешности датчика (например у CS-3 – 0.1 нТл) выдвигается требование, чтобы аэромагнитный комплекс обеспечивал точность измерений не хуже 0.1 нТл. В частности, это касается глубины компенсации девиации. Для анализа рассмотрена классическая модель девиации, основанная на модели Пуассона, полученной еще в начале XIX века. Согласно этой модели наведенное корпусом носителя магнитное поле может быть представлено в виде суммы жесткой и мягкой компонент. Приведены соотношения, из которых следует, что девиация описывается суммой постоянного вектора, произведения постоянной матрицы на вектор внешнего поля. Учитывается также поле вихревых токов, которое описывается произведением другой постоянной матрицы на производную вектора внешнего поля.

Ключевые слова: обработка данных аэромагнитометрии, калибровка параметров девиации.

Перед современным аппаратно-программным комплексом обработки данных аэромагнитометрии стоят следующие вопросы:

- почему при калибровке параметров девиации следует определять аномальное поле и его градиент вдоль траектории летательного аппарата;
- почему необходимо учитывать временные вариации магнитного поля в процессе списания девиации;
- почему необходимо применять высокую частоту измерений магнитного поля на борту летательного аппарата.

Для анализа рассмотрена классическая модель девиации, основанная на модели Пуассона [1]. Согласно этой модели наведенное корпусом носителя (в нашем случае это самолет) магнитное поле может быть представлено в виде суммы жесткой и мягкой компонент. Опуская выкладки, приведем соотношения, из которых следует, что девиация $\Delta\vec{B}$ описывается суммой постоянного вектора \vec{B}_{perm} , произведения постоянной матрицы на вектор внешнего поля $A^{ind}\vec{B}_0$. Учитывается также поле вихревых токов, которое описывается произведением другой постоянной матрицы на производную вектора внешнего поля $A^{eddy}d\vec{B}_0/dt$.

$$\vec{B}_{mes} = \vec{B}_0 + \Delta\vec{B}, \quad \Delta\vec{B} = \vec{B}_{perm} + \vec{B}_{ind} + \vec{B}_{eddy} = \vec{B}_{perm} + A^{ind}\vec{B}_0 + A^{eddy}\frac{d\vec{B}_0}{dt}.$$

В современной аэромагнитометрии измерение производится с помощью квантового датчика, измеряющего не вектор поля, а его модуль. Если мы перепишем приведенное соотношение для квадратов модуля, то увидим, что вектор девиации войдет два раза — как линейный и как квадратичный член.

$$\vec{B}_0 = \vec{B}_{mes} - \Delta\vec{B},$$

$$B_0^2 = (\vec{B}_0, \vec{B}_0) = B_{mes}^2 - 2(\Delta\vec{B}, \vec{B}_{mes}) + \Delta B^2$$

Предположим, что модуль вектора девиации, отнесенный к модулю измеренного вектора поля — малая величина ε .

$$\frac{|\Delta\vec{B}|}{|\vec{B}_{mes}|} = \varepsilon \ll 1.$$

Теперь, будем выписывать выражение для модуля поля как степенной ряд ε . Если принимать во внимание только нулевую степень, получим, что поле с девиацией равно внешнему полю.

$$B_0 = \sqrt{B_{mes}^2 - 2(\Delta\vec{B}, \vec{B}_{mes}) + \Delta B^2} = B_{mes}, \quad \left(\frac{\Delta\vec{B}}{B_{mes}}, \frac{\vec{B}_{mes}}{B_{mes}} \right) \sim \varepsilon, \quad \left(\frac{\Delta B}{B_{mes}} \right)^2 \sim \varepsilon^2.$$

Первая степень ε дает интересное выражение, которое стало известно сначала, как уравнения Толлеса-Лоусена [2, 3, 4], а в настоящее время называется моделью Лелиака [5, 6, 7]:

$$B_0 = B_{mes} - \left(\frac{\Delta\vec{B}, \vec{B}_{mes}}{B_{mes}} \right) = B_{mes} - \left[\left(\frac{\vec{B}_{perm}, \vec{B}_{mes}}{B_{mes}} \right) + \left(A^{ind} \vec{B}_0, \frac{\vec{B}_{mes}}{B_{mes}} \right) + \left(A^{eddy} \frac{d\vec{B}_0}{dt}, \frac{\vec{B}_{mes}}{B_{mes}} \right) \right].$$

Вторая степень, никак в модели Лелиака не учтенная, дает квадратичный член. Максимальная величина разницы между полем скомпенсированным при ортогональной проекции и истинным достигается в случае, когда вектор девиации ортогонален вектору поля. Таким образом, получив параметры модели Лелиака, мы можем оценить теоретический предел точности компенсации, взяв квадрат отношения ее максимального значения к амплитуде внешнего поля.

В докладе приведены практические примеры, подтверждающие следующие выводы:

- 1) В процессе калибровки подбираются параметры девиации, включая курсовую, которые описывают ее с точностью не хуже 0.1 нТл при всех направлениях полета.
- 2) Полностью исключается влияние временной и пространственной изменчивости поля на результат калибровки.
- 3) Высокая частота дискретизации измерений (1000 Гц) позволяет обеспечить необходимую фильтрацию как помех от вибраций, так и поля промышленных помех и импульсных источников.

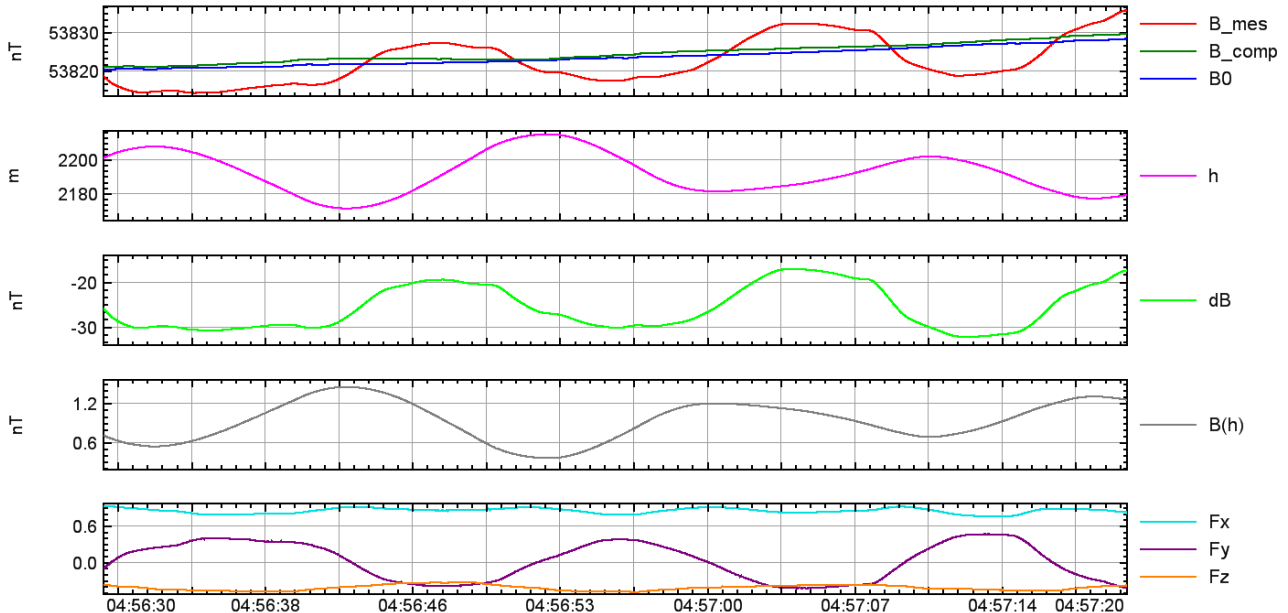


Рис. 1. Влияние вертикального градиента (самолет Л-410).

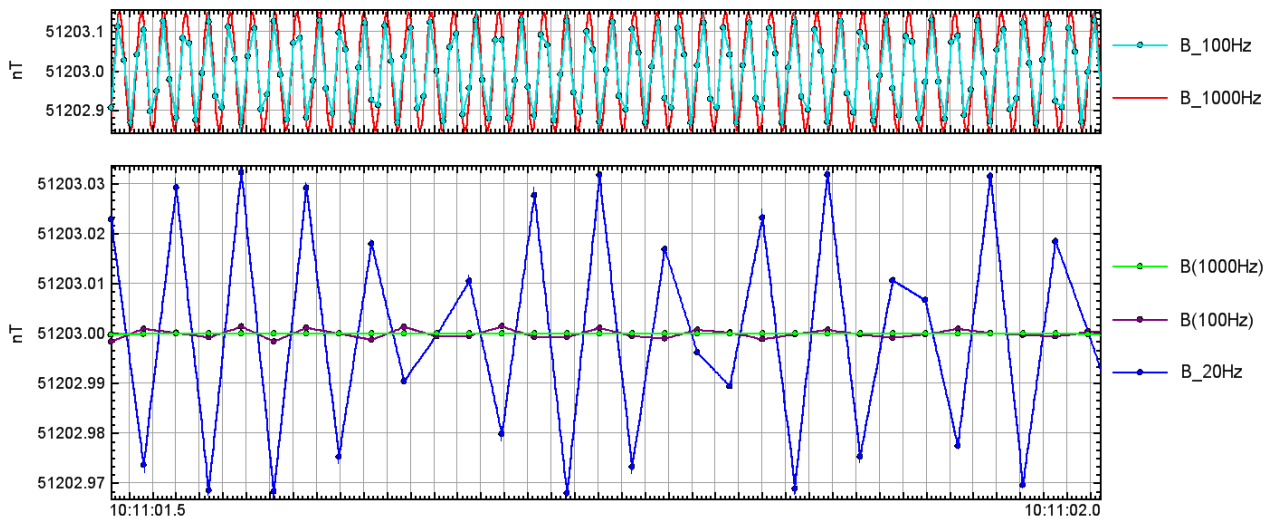


Рис. 2. Влияние вибраций (модель).

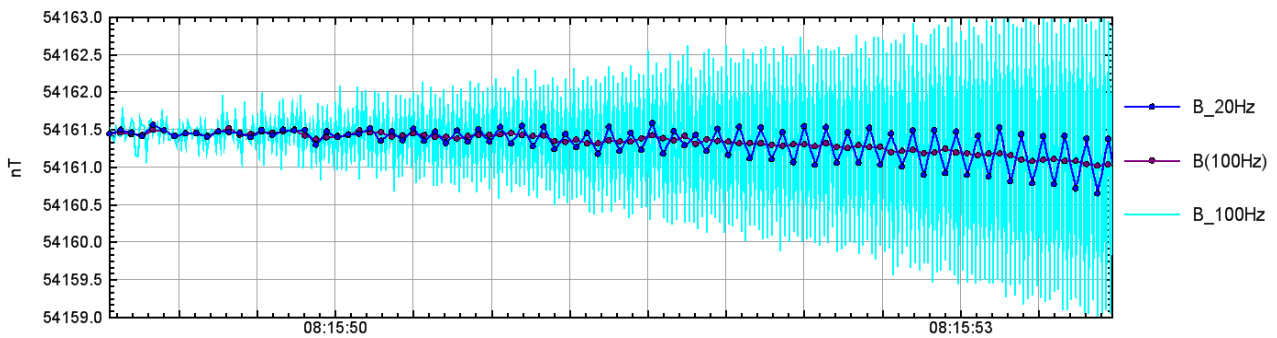


Рис. 3. Влияние поля промышленных помех 50 Гц (самолет Ан-2).

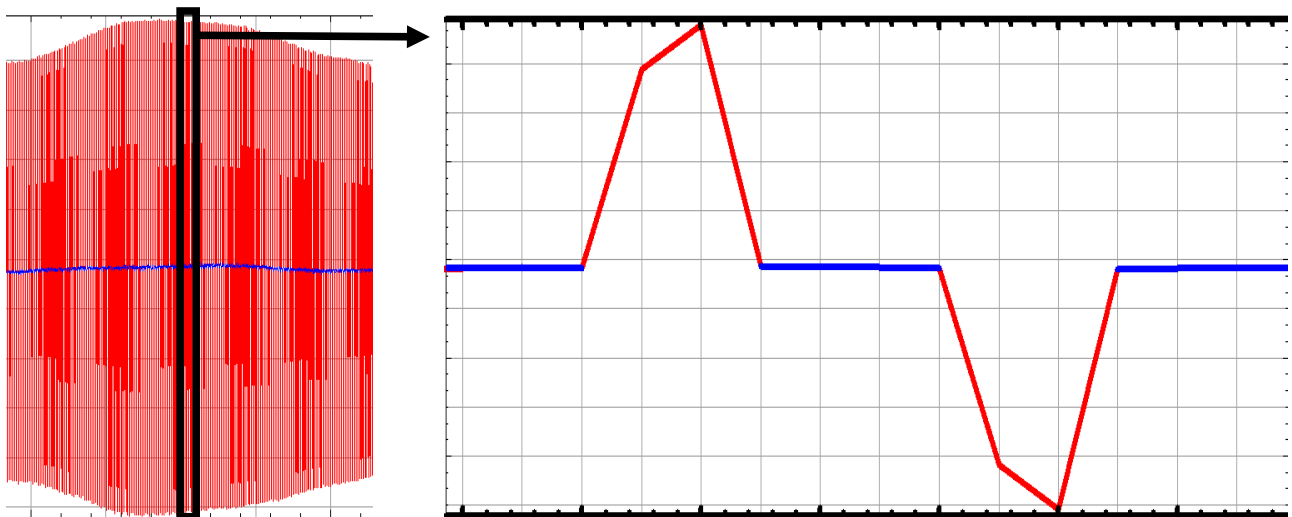


Рис. 4. Исключение поля передатчика аэроразведочной системы «Экватор».

1. Whittaker, E.T. (1951). A History of the theories of aether and electricity: Dover Publications, p. 34.
2. Tolles, W.E. and Lawson, J.D. (1950). Magnetic compensation of MAD equipped aircraft: Airborne Instruments Lab. Inc., Mineola, N.Y., Rept. 201-1; June.
3. Tolles, W.E. (1954). Compensation of aircraft magnetic fields: U. S. Patent (No. 2,692,970). U.S.
4. Bickel, S.H. (1979). Error analysis of an algorithm for magnetic compensation of aircraft: IEEE Transactions on Airspace and Electronic Systems, vol. AES-15, issue 5, pp. 620-626.

5. Leliak, P., (1961). Identification and evaluation of magnetic field sources of magnetic airborne detector equipped aircraft: IRE Transactions on Aerospace and Navigational Electronics, 8, no. 3, pp. 95-105.
6. Groom, R.W., Ruizhong Jia and Bob Lo (2004). Magnetic compensation of magnetic noises related to aircraft's maneuvers in airborne survey: SAGEEP Annual Symposium, Colorado Springs, Colorado, 8 pp.
7. Noriega, G. (2011). Performace measures in aeromagnetic compensation: The Leading Edge, October, pp. 1122-1127.