

УЛУЧШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА

Лупиков В.С., д.т.н., Крюкова Н.В.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
кафедры "Электрические аппараты" и "Общая электротехника"
61002, Украина, Харьков, ул. Фрунзе, 21
тел. 707-68-64

Машнев А.Е., к.т.н., Петров С.В., Пелевин Д.Е., Шубцов В.Е.
Отделение магнетизма Института электродинамики НАН Украины,
61106, Украина, Харьков, ул. Индустриальная, 19
тел. 99-21-62

Приведено результати експериментальних досліджень розподілу магнітного поля в робочій області магнітовимірювального стенду Відділення магнетизму Інституту електродинаміки НАН України. Дані рекомендації щодо підвищення точності вимірювань постійного магнітного поля на стенді.

Приведены результаты экспериментальных исследований распределения магнитного поля в рабочей области магнитоизмерительного стенда Отделения магнетизма Института электродинамики НАН Украины. Даны рекомендации по повышению точности измерений постоянного магнитного поля на стенде.

ВВЕДЕНИЕ

Современные магнитные системы начальной стабилизации космического аппарата (КА) получили широкое применение благодаря тому, что не требуют расхода топлива. При выводе КА на околоземную орбиту после отделения от носителя начальная стабилизация осуществляется благодаря силовому магнитному взаимодействию элементов системы стабилизации с магнитным полем Земли (МПЗ). Исполнительными элементами этих систем стабилизации являются электромагниты и ферромагнитные стержни [1]. Технология изготовления электромагнитов системы стабилизации включает корректировку либо настройку их параметров по данным измерений магнитного поля КА. Эти ответственные операции измерения могут быть выполнены только на специализированных стендах. Для высокоточной настройки электромагнитов систем стабилизации на этих стендах требуется выполнение двух условий. Первое, необходимо обеспечить высокую точность компенсации магнитных помех – составляющих постоянного магнитного поля от посторонних источников в рабочей области стенда. Второе, стенд должен позволять воспроизведение всех возможных картин распределения магнитного поля Земли в его рабочей области. В настоящее время на территории Украины существует единственный стенд Отделения магнетизма Института электродинамики НАН Украины (г. Харьков), который в определенной степени отвечает этим условиям. Ограничения возможностей стенда связаны с тем, что этот стенд проектировался для нужд Морского флота, а не для решения задач экспериментального характера, связанных с созданием эффективных систем стабилизации КА. Используемая на стенде технология позволяет в принципе проводить измерение параметров КА при включенном состоянии его бортовых электрических цепей. Однако при этом необходима достаточно высокая точность компенсации сигналов магнитных

помех от внешних источников магнитного поля.

Цель работы – экспериментальное определение параметров магнитного поля в рабочей области стенда Отделения магнетизма Института электродинамики НАН Украины и разработка рекомендаций по повышению точности измерений постоянного магнитного поля.

ОПИСАНИЕ СТЕНДА

Для создания регулируемого однородного магнитного поля в рабочей области стенд оснащен системой колец (обмоток) Гельмгольца. Обмотки колец расположены в трех ортогональных плоскостях. Диапазон изменения значений любой из трех компонент магнитной индукции составляет $(-60, +60)$ мкТл [2] и охватывает все возможные величины магнитного поля Земли при различных вариантах ориентации КА. Требуемая степень однородности магнитного поля в рабочей области стенда составляет 1 %.

Расположенные на стенде кольца Гельмгольца – квадратные, многovitковые обмотки, питаемые постоянным током от статического преобразователя типа ТМА 3-20 со специальной системой управления, которая обеспечивает низкий уровень пульсаций выходного тока преобразователя [2] при измерениях.

Рабочая область стенда представляет собой сферический объем диаметром 2 м в центре обмоток. Перед испытаниями КА устанавливается на подвижной платформе, выполненной из немагнитного материала. На рис. 1 приведена схема расположения одной секции обмоток 1, ориентированных вдоль одной из координатных осей, две остальные секции не показаны. Ось x стенда направлена на север, y – на восток, z – вертикально. После компенсации помех внутри рабочей области стенда 2 космический аппарат 3 доставляется платформой 4 в центр области.

Общий вид стенда с установленным на платформе КА на стенде приведен на рис. 2.

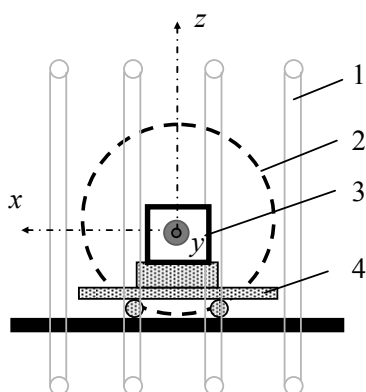


Рис. 1. Схема стэнда для проведения магнитных измерений



Рис. 2. Стэнд Отделения магнетизма Института электродинамики НАН Украины для измерений магнитного поля

Основными источниками магнитных помех на стэнде являются ферромагнитная труба, предназначенная для подачи воды в гидротормоз, и небольшие крепежные элементы, расположенные по северной стороне стэнда на расстоянии 0,5 м от вертикальных участков секций обмоток, ориентированных вдоль координатных осей x и y стэнда. Эта труба является источником трех видов магнитных полей помех: остаточное поле, вызванное остаточной намагниченностью, приобретенной в процессе изготовления (сварки) трубы; индуцированное поле, наводимое в трубе под воздействием магнитного поля Земли (МПЗ); поле токов, возникающее в трубе под действием магнитного поля рассеяния токов обмоток. Вертикальная B_z и горизонтальная B_x компоненты индукции МПЗ в рабочей области стэнда распределены равномерно и составляют соответственно 45 и 23 мкТл.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Намагниченные ферромагнитные элементы создают магнитные помехи в рабочей области стэнда, заключающиеся в нарушении однородности магнитного поля, т.е. появляется градиент магнитной индукции. Количественная оценка магнитной помехи на стэнде проводилась экспериментально, при отсутствии источников поля в рабочей области стэнда.

Измерения проводились измерительной системой, содержащей магнитометр Förster (Германия) и два одинаковых датчика. При проведении измерений

оба датчика располагались на высоте 1,5 м от пола, что соответствует положению по вертикали центра рабочей области. Первый датчик помещался в центре рабочей области и при измерениях не менял положения и ориентации. Положение второго датчика менялось в пределах центральной горизонтальной плоскости рабочей области. Точки его расположения менялись по осям x (–3 м, 3 м) и y (–2,5 м, 2,5 м). Датчик ориентировался осью чувствительности противоположно первому датчику. Для каждого фиксированного расположения измерялась разность сигналов датчиков. При такой схеме эксперимента сигналы МПЗ компенсировались в измерительной системе.

Для уменьшения погрешности, обусловленной невозможностью обеспечить строго параллельное расположение датчиков при многократной установке их в достаточно удаленных точках рабочей области, проводились измерения компонент индукции только в направлении основного поля секций обмоток: по оси x – B_x , по оси y – B_y . На рис. 3 приведены результаты измерений компонент B_x и B_y в точках центральной горизонтальной плоскости рабочей области.

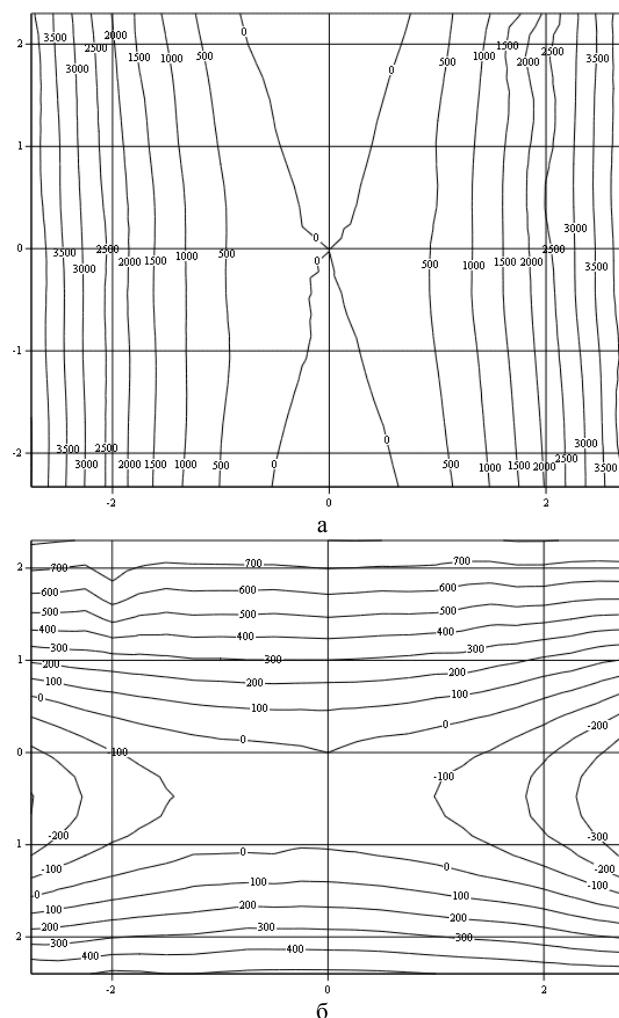


Рис. 3. Измеренное распределение компонент индукции B_x (а) и B_y (б)

На рис. 4 показаны графические зависимости этих компонент в точках оси x .

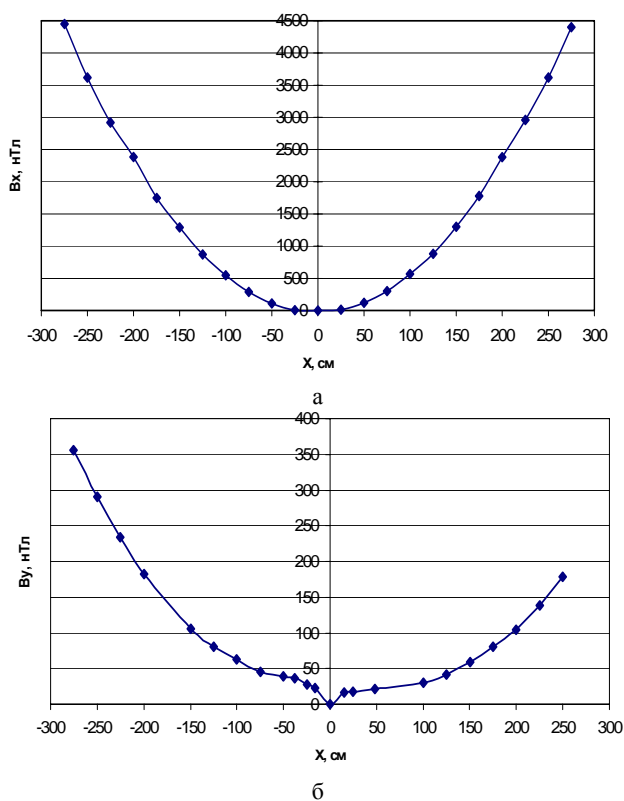


Рис. 3. Распределение компонент индукции B_x (а) и B_y (б) по оси x рабочей области

Анализ распределений показывает, что вдоль оси u существует явно выраженная асимметрия распределения поля, что сказывается на точности измерений. Кроме того, в рабочей области распределение магнитного поля характеризуется значительным градиентом. Особенно большой градиент поля наблюдается у составляющей индукции по оси x . Как показали исследования, причиной является индуцированная намагниченность отдельных стен стенда, сложенных из красного ("магнитного") кирпича, которые оказывают такое же влияние и на распределение составляющей индукции и по оси z стенда.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Для повышения точности измерений постоянного магнитного поля на стенде Отделения магнетизма Института электродинамики НАН Украины предложены следующие рекомендации.

1. Уменьшение влияния ферромагнитной трубы и крепежных элементов из ферромагнитных материалов возможно двумя путями.

Первый путь – заменить ферромагнитную трубу на немагнитную, изготовленную из алюминия, латуни или немагнитной стали.

Второй путь, более сложный в техническом отношении, но более дешевый и расширяющий функциональные возможности стенда – разработать и установить локальную систему компенсации магнитного поля ферромагнитной трубы. Такая система представляет собой одну или несколько компенсационных обмоток, намотанных на трубу и питаемых постоянными токами. Параметры компенсационных катушек определяются исходя из трех условий. Первое условие

– равенство по величине магнитной индукции на участке ферромагнитной трубы и индукции, создаваемой компенсационной обмоткой в этом же элементе трубы обмоткой компенсации и противоположности их направлений [3]. Второе условие – равенство постоянных времени секций катушек Гельмгольца и обмоток компенсации. Выполнение этого условия обеспечивает синхронное и одинаковое по величине убывание полей при отключении обмоток Гельмгольца. Третье условие – обеспечение заданного градиента распределения поля в рабочей области стенда при включении обмоток Гельмгольца.

2. Для снижения остаточного магнитного поля помех рекомендуется:

- размагничивание ферромагнитных труб переменным магнитным полем;
- применение специальной системы, обеспечивающей коммутацию токов обмоток Гельмгольца по специальной программе для создания размагничивающего знакопеременного поля, убывающего по экспоненте, и реверсирования направления тока в обмотках.

3. Для уменьшения влияния собственной остаточной намагниченности на точность магнитных измерений без включения колец Гельмгольца необходимо размагнитить ферромагнитные элементы стенда.

4. Для снижения влияния намагниченности отдельных стен стенда рекомендуется использовать локальную систему компенсации магнитного поля, обмотки которой питаются постоянными токами. Оси этих обмоток ориентируются вдоль осей x и z стенда. Компенсационную систему, оси обмоток которых. Величины токов подбираются экспериментально.

ВЫВОДЫ

Проведены экспериментальные исследования однородности магнитного поля в рабочем объеме магнитоизмерительного стенда Отделения магнетизма Института электродинамики НАН Украины. Предложены рекомендации по повышению точности измерений постоянного магнитного поля. Выполнение этих мероприятий позволит обеспечить точную настройку электромагнитов систем стабилизации космических аппаратов по данным измерений на этом стенде.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Афанасьев Ю.В., Студенцов Н.В., Хорев В.Н. и др. Средства измерений параметров магнитного поля. – Л.: Энергия, 1979. – 320 с.
- [2] Розов В., Ерисов А., Волохов С. Стенд для измерения магнитных моментов изделий // Труды Международной науч.-технич. конф. "Метрология в электронике – 97". – Харьков: ГНПО "Метрология", 1997, Том 1. – С. 167-169.
- [3] Розов В.Ю., Волохов С.А., Луликов В.С., Кильдишев А.В., Ерисов А.В. Технология снижения внешних магнитных полей судового электрооборудования // Труды Второй международной конференции по судостроению "ISC'98". – Т. 2. – С.-Петербург: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1998. – С. 22-27.

Поступила 02.09.2005