

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

**КАЛИБРОВКИ БЛОКА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
МАГНИТО-ИНЕРЦИАЛЬНОГО МОДУЛЯ  
АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

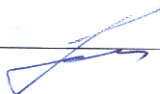
студента 2 курса 251 группы  
направления 03.04.02 «Физика»

физического факультета

Спиридонова Дмитрия Михайловича

Научный руководитель

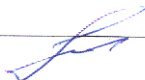
д. ф.-м. н., профессор



А. А. Игнатьев

Зав. кафедрой

д. ф.-м. н., профессор



А. А. Игнатьев

Саратов 2018

**Актуализация работы.** Магнитометрия на сегодняшний день является бурно развивающейся отраслью науки и техники. На практике магнитоизмерительные устройства получили широкое распространение в решении очень широкого круга задач. Вопрос разработки магнитометров высокого класса точности, имеющих малую массу и энергопотребление, актуален при решении задач ориентации, навигации, магнитного взвешивания и др. [1]. В последнее время наблюдается повышенный интерес к разработкам автономной навигационной системы, с магнитным основным измерительным каналом. Такие системы, по предварительным оценкам, имеют выгодное отличие от спутниковых навигационных систем – автономность, и от инерциальных навигационных систем – не накапливают ошибки навигационных параметров. Для реализации такой системы необходимым условием является наличие высокоточного измерителя магнитной индукции и поля силы тяжести Земли. Выполнение этих условий в значительной мере обеспечивается применением эффективных программно-алгоритмических методов коррекции описанных в настоящей работе.

**Целью настоящей работы** является исследование вопросов повышения точностных характеристик магнито-инерциального модуля [2] (то есть устройства, включающего в свой состав магнитометрические и акселерометрические векторные датчики). Но методы и приемы, предлагаемые в данной работе, могут быть успешно использованы для улучшения точностных параметров любых векторных измерителей магнитной индукции и ускорения.

**В работе решаются задачи** разработки методов геометрической калибровки трехосевых измерительных блоков и компенсации выявленных погрешностей. Это связано с наибольшей трудоемкостью проведения и сложностью понимания процесса данного вида калибровки [3].

Немалое внимание уделяется и температурной двухфакторной калибровке измерительных блоков (компенсация влияния температуры на масштабные коэффициенты и смещения нулей передаточных функций измерителей) и метрологической калибровке, позволяющей добиться высоких точностей при работе с измерителями [4].

**Предметом исследования ВКР** являются магнито-инерциальный модуль (МИМ-2) и его максимально достижимые точностные параметры.

**Практическая значимость** работы определяется высокой востребованностью современным рынком точных, малогабаритных и недорогих магнитоизмерительных и инерциальных устройств.

### **Содержание работы.**

#### Раздел 1 Магнито - инерциальный модуль

##### 1.1 Функциональная схема

##### 1.2 Блок магнитометров

##### 1.3 Блок акселерометров

##### 1.4 Блок цифровой обработки сигналов

#### Раздел 2 Технологические калибровки трех осевого блока магнитометров и трех осевого блока акселерометров

##### 2.1 Температурная калибровка

##### 2.2 Метрологическая калибровка

##### 2.3 Геометрическая калибровка

#### Раздел 3 Методики проведения технологических калибровок магнито-инерциального модуля

##### 3.1 Методика проведения температурной калибровки

##### 3.2 Методика проведения метрологической калибровки

### 3.3 Методика проведения геометрической калибровки

### 3.4 Оценка погрешностей

#### **Основное содержание работы.**

Первый раздел работы посвящен описанию принципа работы магнито-инерциального модуля на уровне функциональных схем. Исходя из требуемых параметров выходных сигналов МИМ-2 сформирована функциональная схема устройства. Рассмотрен принцип работы феррозондового магниточувствительного датчика [5]. Описаны схемы формирования полезных сигналов магнитометрического и акселерометрического каналов МИМ-2 [6].

Второй раздел работы посвящен калибровкам магнито-инерциального модуля, призванным увеличить точностные характеристики его выходных сигналов.

Первичные преобразователи физических величин регистрирует не непосредственно измеряемую величину, а какой-то электрический параметр (напряжение, частоту). Зависимость регистрируемого параметра от измеряемой величины не обязательно имеет линейный характер и не зависит при этом от влияния других физических величин. Для выявления точной связи между измеряемой физической величиной и регистрируемым параметром, а также для исключения влияния внешних факторов проводятся различные виды калибровок, юстировок и тарировок изделия.

В разделе 2 работы рассматриваются методы проведения метрологической, температурной и геометрической калибровок, а также последующая компенсация выявленных дестабилизирующих факторов, снижающих точностные характеристики устройства.

Третий раздел работы посвящен практическому применению описанных во втором разделе методов калибровок. Для каждой калибровки

составлена и апробирована методика, включающая необходимое оборудование, последовательность операций и действий, необходимых для достижения оптимального результата.

Кроме того, третий раздел включает оценку погрешностей описанных методик, позволяющую заранее оценить максимально возможные достижимые точности проводимых калибровок.

## **Заключение**

В работе представлены следующие результаты:

1. Разработан оригинальный метод геометрической калибровки блока магнитометров, позволяющий определять углы отклонения осей чувствительности от приборных осей с точностью до 0,05 угловых градуса. Так же был разработан метод геометрической калибровки блока акселерометров, позволяющий определять углы отклонения с точностью до 0,06 угловых градуса.

2. Разработан метод двухфакторной температурной калибровки блоков магнитометров и акселерометров, теоретически, позволяющий достичь высоких результатов при определении погрешностей, вносимых температурой в показания измерителей.

3. Разработан метод метрологической калибровки блоков магнитометров и акселерометров, свободный от необходимости применения магнитной меры, и позволяющий, получить точности калибровки на уровне точности эталонного магнитометра.

4. Составлены и апробированы методики метрологической, температурной и геометрической калибровок, и определены пределы погрешностей, достижимых при использовании данных методик.

## Список использованных источников

1. Игнатъев, А. А. Проблемы и перспективы развития прецизионной магнитометрии / А. А. Игнатъев, Г. М. Проскуряков, Е. А. Каюшкина // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. Вып. 15: Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 92–103.
2. Лекарев А.А. Магнитоинерциальный модуль для новых применений / А.А. Лекарев, Д.М. Спиридонов, А.А. Игнатъев, А.А. Солопов // Гетеромагнитная микроэлектроника : сборник научных трудов / под ред. проф. А.В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2016. – Вып. 20 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 4 – 12.
3. Спиридонов Д.М. Геометрическая калибровка блока магнитометров/ Д.М. Спиридонов, А.А. Игнатъев. // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2017: материалы Международного симпозиума и Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting 2017 / под ред. Г.В. Симоненко, В.В. Тучина. - Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2017. С. 107 – 109. ISBN 978-5-98116-224-4.
4. Игнатъев, А. А. Однофакторные калибровки блока магнитометров (алгоритмы, методика, технологии)/ А. А. Игнатъев, Г. М. Проскуряков, Д. М. Спиридонов. // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. Вып. 15: Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 115–131.
5. Феррозонды / Ю.В Афанасьев. Л.: Энергия, 1969. 168 с.
6. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; в 3-х томах: Т.2. Пер. с англ. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Мир, 1993. – 371с.