

ОТЗЫВ

официального оппонента **Бодина Олега Николаевича**, доктора технических наук, профессора кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, на диссертационную работу **Филиппова Александра Сергеевича** «Информационно-измерительная система контроля угловой скорости вращательного движения малого космического аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11 – «Информационно-измерительные и управляющие системы»

1. Актуальность диссертационного исследования

Современные беспилотные космические аппараты (КА) развиваются в направлении уменьшения массы, габаритов и энергопотребления. Все большее применение находят малые космические аппараты (МКА). При этом целевые тактико-технические характеристики (разрешение снимков, точность наведения антенн, время переориентации) МКА сравнимы с КА среднего класса. Это обуславливает повышенные требования к информационно-измерительным системам контроля угловой скорости вращательного движения (ИИС КВД), входящих в состав информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС), обеспечивающих пространственную ориентацию МКА. В МКА широко применяются магнитометры, поскольку они имеют высокую надежность, большой ресурс работы, компактные габариты, небольшую массу и невысокую стоимость. В отличие от наземных магнитометров, которые пользователь может ориентировать для определения направления магнитного поля, в космосе пользователь связан телекоммуникациями со спутником, движущимся со скоростью 25 000 км в час. Поэтому имеется ряд нерешенных задач, связанных, прежде всего, с плотной внутренней компоновкой МКА, которая

не позволяет изолировать магнитометры от влияния бортовой аппаратуры (БА). БА при своем функционировании создает магнитные возмущения, воздействие которых приводит к увеличению погрешности измерений магнитометрами вектора индукции магнитного поля Земли (МПЗ).

Диссертация Филиппова А.С. посвящена актуальной задаче совершенствования ИИС КВД, в состав которой входят магнитометры, а также разработке новых структур ИИС КВД и методик ее испытаний. Целью диссертационной работы является повышение эффективности ИИС КВД с магнитометрами за счет снижения погрешности измерений индукции МПЗ на основе использования новых алгоритмов функционирования и предложенной методики наземных испытаний.

2. Анализ структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Работа изложена на 143 страницах, список литературы содержит 145 наименований.

Во *введении* кратко изложена актуальность темы, состояние исследований в данной области, сформулированы цели и задачи исследований.

В *первой главе* соискателем проведен анализ существующей датчиковой аппаратуры для контроля угловой скорости космических аппаратов. Сформулированы основные недостатки магнитометров, такие как влияние на измерения собственных магнитных полей МКА и невысокая точность измерений. Рассмотрены способы уменьшения влияния магнитных возмущений от БА на измерения магнитометров.

Во *второй главе* предложена функционально-ориентированная модель вращательного движения МКА для использования в ИИС КВД. Определено, что для корректной работы ИИС КВД с магнитометрами необходимыми условиями являются компенсация магнитных возмущений и непрерывный контроль параметров вращательного движения МКА.

В *третьей главе* диссертантом предложена структурная схема ИИС КВД с возможностью настройки бортового программного обеспечения для реализации гибких алгоритмов контроля угловой скорости вращательного движения МКА. Проведен метрологический анализ измерительных каналов разработанной ИИС КВД с магнитометрами, выполнен анализ инструментальных погрешностей, исследованы факторы, определяющие методическую погрешность.

В *четвертой главе* предложен метод наземных испытаний для разработанной ИИС КВД, позволяющий сформировать массив поправочных коэффициентов для учёта влияния возмущений магнитных полей БА на измерения магнитометров. Применение данных коэффициентов позволяет снизить погрешность определения индукции магнитного поля Земли. Разработана схема функционирования ИИС КВД в полете с новым алгоритмом непрерывного контроля угловой скорости МКА, позволяющим обеспечить высокую вероятность принятия правильного решения о необходимости включения корректировки ориентации.

В *пятой главе* описаны результаты экспериментального исследования разработанной ИИС КВД при проведении наземных и летных испытаниях МКА «АИСТ-2Д». Проведена количественная оценка повышения эффективности контроля угловой скорости средствами разработанной ИИС КВД при летных испытаниях МКА «Аист-2Д».

В *приложении* приведен акт внедрения результатов работы в процессы проведения наземной экспериментальной отработки и летных испытаний МКА «АИСТ-2Д».

Работа выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (РФ) к кандидатским диссертациям.

Рукопись оформлена согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011 и ГОСТ 2.105 с применением текстового и графического редакторов. Диссертация логично

построена, ее структура и содержание соответствуют цели и задачам исследования. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

По результатам исследований Филипповым А.С. опубликовано 24 работы, в том числе: 7 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 8 работ опубликовано в изданиях, индексированных в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus. Получен патент РФ на изобретение.

Опубликованные труды достаточно полно отражают основные результаты диссертационного исследования.

Личный вклад автора в публикациях, выполненных с соавторами, соответствует заявленным научным и практическим результатам диссертационного исследования.

3. Научная новизна работы и полученных результатов

Среди полученных автором основных научных результатов, следует отметить следующее:

1) разработана функционально-ориентированная математическая модель вращения МКА, учитывающая возмущения магнитного характера от бортовой аппаратуры, которая послужила методологической основой для разработки новой структуры ИИС КВД с магнитометрами;

2) разработан алгоритм непрерывного контроля, позволяющий учесть значимые внутренние и внешние возмущения магнитных полей, не выявленные при наземных испытаниях;

3) предложена структура ИИС КВД с блоком вычислителя и внешними связями с другими блоками БА МКА, позволяющая реализовать алгоритм непрерывного контроля;

4) разработан метод наземных испытаний ИИС КВД в составе МКА, который позволяет определить поправочные коэффициенты для снижения погрешности измерений индукции магнитного поля Земли.

Приведенные результаты, полученные в диссертационной работе, обладают существенной научной новизной.

4. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики

Результаты диссертационного исследования имеют теоретическую и практическую значимость для развития и проектирования информационно-измерительных систем, в состав которых входят приборы измерения магнитной индукции.

Теоретические положения, метрологический анализ и методика испытаний ИИС КВД, изложенные в диссертации, лежат в основе создания ИИС, нашедшей применение в космической технике (на МКА «АИСТ-2Д»). Это подтверждается актом внедрения, приведенным в приложении.

Практическую ценность имеет универсальный характер предложенных автором решений. Методика наземных испытаний и алгоритм непрерывного контроля могут быть использованы в ИИС для КА среднего и большого класса, а также в медицине, например, для регистрации слабых магнитных полей, создаваемых сердцем, активностью мозга и т.д.

5. Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний считаю возможным отметить следующее:

1) в работе следовало бы привести моделирование влияния магнитных возмущений от БА на измерения магнитометров;

2) допущение о неизменности вектора магнитной индукции между двумя последовательными измерениями в функционально-ориентированной модели следовало бы дополнить количественной оценкой;

3) автор оценивает эффективность использования разработанной ИИС на МКА «АИСТ-2Д», однако, не приводит данные о результатах управления ориентацией по сигналам от ИИС КВД;

4) работа выглядела бы более наглядно, если бы были приведены значения корректирующих коэффициентов;

5) автором обосновывается алгоритм непрерывного контроля внутренних и внешних возмущений магнитных полей, однако не

приводятся временные диаграммы, поясняющие непрерывность контроля измеренных параметров с использованием смоделированных параметров;

6) не приведён пример парирования нештатной ситуации в алгоритме непрерывного контроля внутренних и внешних возмущений магнитных полей;

7) в описании (см. 61 стр. диссертации) функциональной схемы магнитометра, приведённой на рисунке 3.6, присутствует драйвер сигналов «Set и Reset», но он отсутствует на самой схеме.

6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа содержит новое решение актуальной научно-технической задачи в области информационно-измерительных систем, связанной с учетом влияния паразитных магнитных полей на измерения магнитометров, что обеспечило снижение погрешности оценки угловой скорости вращательного движения МКА.

Диссертация соответствует пунктам паспорта специальности 2.2.11 – Информационно-измерительные и управляющие системы:

п. 1 – Научное обоснование перспективных информационно-измерительных и управляющих систем, систем их контроля, испытаний и метрологического обеспечения, повышение эффективности существующих систем;

п. 3 – Методы и системы программного и информационного обеспечения процессов отработки и испытаний образцов информационно-измерительных и управляющих систем;

п. 4 – Методы анализа технического состояния, диагностики и идентификации информационно-измерительных и управляющих систем.

Считаю, что диссертация представляет научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор,

Филиппов Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11 – Информационно-измерительные и управляющие системы.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,
доктор технических наук, профессор



25.10.2021

О.Н. Бодин

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет»

Адрес: 440011, г. Пенза, ул. Карпинского, д. 25, кв. 3

Телефон: +7(963)098-04-53

E-mail: bodin_o@inbox.ru

Шифр и наименование научной специальности в соответствии с номенклатурой, по которой была защищена диссертация лица, представившего отзыв:

05.11.17 - Приборы, системы и изделия медицинского назначения

05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)

Подпись доктора технических наук, профессора Бодина О.Н. заверяю:



Адрес организации ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»:
440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40,
Контактный телефон: +7 (8412) 66-64-19
Адрес электронной почты: cnit@pnzgu.ru. Веб-сайт: <http://www.pnzgu.ru>