

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Тарыгина Ильи Евгеньевича

на тему: «РАСШИРЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ МОДЕЛИ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ИЗМЕРЕНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В ЗАДАЧЕ КАЛИБРОВКИ»
по специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин»

Диссертация И.Е. Тарыгина посвящена актуальной научно-технической задаче температурной калибровки бескарданных инерциальных навигационных систем (БИНС) в изменяющихся условиях функционирования высокоманевренного объекта при существенных градиентах температуры окружающей среды. В работе предложены расширенные температурные модели погрешностей измерений инерциальных датчиков, включающие в себя коэффициенты зависимостей погрешностей инерциальных датчиков от температуры окружающей среды, производной температуры по времени и компонент пространственного градиента температуры в узлах БИНС. В работе разработана и проанализирована новая математическая модель температурной калибровки БИНС, поставленная как задача оптимального оценивания вектора состояния линейной динамической системы по вектору измерений. Предложены планы калибровочных экспериментов, дополняющие и расширяющие известные методы калибровки БИНС в заданных стабилизированных температурных режимах функционирования на подвижном основании. Исследована наблюдаемость в соответствующей задаче оценивания.

Актуальность темы

Тема исследования несомненно актуальна. Температурные зависимости измерений инерциальных датчиков оказывают прямое влияние на точность функционирования БИНС в основном рабочем навигационном режиме. Проблема температурной калибровки БИНС является одной из ключевых задач в технологии калибровки навигационных систем. Современные требования к точности БИНС непрерывно повышаются, таким температурная калибровка является одним из направлений, позволяющим повысить точность БИНС без внесения существенных изменений в конструкцию или принципы работы системы. Еще одним важным, практическим аспектом является сокращение времени на проведения термокалибровки в широком диапазоне измерения температуры. Предложенный в работе подход к термокалибровке потенциально сокращает время на ее проведение.

Приведенные в работе результаты исследования могут быть использованы для повышения точности работы БИНС в условиях

изменяющейся температуры, а также ускорения традиционного процесса калибровки в заданных температурных режимах.

Степень обоснованности и достоверности

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации, подтверждается тем, что текст работы содержит достаточно полное описание проведенных исследований, вывод формул и обоснование алгоритмов и всех математических моделей. Теоретические выводы согласуются с результатами численного моделирования и с результатами обработки экспериментальных данных.

Научная новизна

В работе предложена оригинальная методика калибровки БИНС, предполагающая оценку параметров априорной модели погрешностей измерений инерциальных датчиков в динамическом эксперименте с переменной температурой. Предложен план соответствующего калибровочного эксперимента, доказано наличие наблюдаемости в соответствующей задаче оценивания. Важно заметить, что предложенный в работе эксперимент может быть реализован на практике при наличии термокамеры. Предложенная методика развивает, дополняет ранее разработанные в МГУ им. М.В. Ломоносова методики стендовой калибровки БИНС.

Апробация работы и публикации

Основные результаты работы докладывались на международных и всероссийских научных конференциях. Элементы данной работы были апробированы на ряде предприятий, специализирующихся на производстве навигационных систем. Результаты диссертации изложены в 11 печатных работах, 5 из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах по направлению механика и математика, индексируемых в международной базе Скопус.

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 151 странице.

Во введении обосновывается актуальность исследуемой темы, задаются цели диссертации и описываются методы исследования.

Первая глава посвящена описанию предложенных автором расширенных температурных моделей погрешностей измерений инерциальных датчиков, учитывающие зависимости от температуры, производной температуры по времени и компонент пространственного градиента температуры. Предложенная новая математическая модель использована при калибровке БИНС в изменяющихся температурных условиях функционирования. Проведен анализ наблюдаемости параметров расширенной математической

модели погрешностей на основе экспериментальных данных инерциальных датчиков в условиях изменяющейся температуры окружающей среды. Сформулированы необходимые и достаточные условия наблюдаемости в поставленной задаче оценивания.

Вторая глава посвящена исследованию решения важной практической задачи оценивания производной температуры по времени внутри БИНС по измерениям датчика температуры в случае, когда стандартное численное дифференцирование неприменимо. Предложен и обоснован алгоритм оценивания производной температуры по измерениям термодатчика, представляющий собой модификацию фильтра Калмана.

В третьей главе представлены результаты обработки конкретных экспериментальных данных по температурной калибровке системы навигационного класса точности БИНС-РТ (АО «ИТТ» г. Раменское) и блока чувствительных элементов БЧЭММ-1 (ПАО «МИЭА»). Показано, что предложенная в работе методика позволяет учесть оцененные и моделируемые погрешности инерциальных датчиков, обусловленные температурными воздействиями, что, в свою очередь, позволило существенно снизить влияние температуры на показания инерциальных датчиков и, тем самым, повысить точность инерциальной системы.

В четвертой главе проанализирована задача температурной калибровки отдельного блока ДУС без наличия блока ньютометров. Такая задача актуальна, пример, для систем астронавигации. Поставлена соответствующая задача оценивания, в которой в качестве корректирующих измерений используются измерения углов поворота осей двухосного калибровочного стенда. Проведено численное моделирование задачи, проанализированы результаты моделирования, подтверждающие основные теоретические выводы.

В качестве замечаний по тексту диссертации отметим следующее.

1. В приведенном во введении обзоре современного состояния развития науки и техники недостаточно подробно обсуждаются методы построения динамических моделей температурных погрешностей инерциальных датчиков при воздействии температуры окружающей среды.
2. Как правило, в БИНС используются одноосевые инерциальные датчики, измеряющие угловое и линейное движение основания в соответствующих осях чувствительности датчиков. Наличие перекрестных связей в каналах измерений датчиков имеются, однако необходимость введения 45 коэффициентов температурного влияния для ньютометров и 60 коэффициентов для датчиков угловой скорости подробно не обсуждается.

3. В первой главе диссертации доказана теорема о необходимых и достаточных условиях наблюдаемости в рассматриваемой системе, при условии, что калибровка проводится на экваторе Земли, однако, вопрос о калибровке на произвольной широте не получил достаточного внимания.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к кандидатским работам. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Тарыгин Илья Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин».

Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Меркурьев Игорь Владимирович

15.03.2024

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Адрес места работы: 111250, Россия, г. Москва, ул.Красноказарменная, д. 14.