



Филиал ФГУП «НПЦАП им. академика Н.А.Пилюгина»

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«КОРПУС»

(Филиал ФГУП «НПЦАП» — «ПО «Корпус»)

Осипова ул., д. 1, Саратов, 410019

Тел.: +7 (8452)64-84-85. Факс: +7(8452)64-15-02

www.korpus64.ru, e-mail: po_korpus@forpost.ru

ИНН/КПП 7728171283/645243001

ОГРН 1027739552642

08.05.2019 № 8-230/221

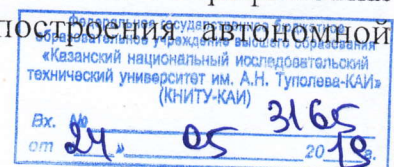
ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Калихмана Дмитрия Михайловича на диссертационную работу Купоросовой Елены Серафимовны на тему «**Автономная персональная информационно-измерительная система наземного позиционирования с коррекцией углов наклона по опорной поверхности**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – информационно-измерительные и управляющие системы (в приборостроении).

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время пешеходные навигационные системы любой страны представляют собой стратегически важные технические средства, обеспечивающие получение жизненно важной информации о местоположении сотрудника в опасных внешних условиях. Данные системы, несмотря на всю простоту исполнения, отличаются сложностью алгоритмов обработки информации. Разработка методов повышения точности таких систем, а также методов анализа технического состояния, диагностики и идентификации рассматриваемых информационно-измерительных систем являются основными задачами, стоящими перед исследователями в настоящее время. Сложность решения отмеченных вопросов состоит в специфике применения данного рода систем внутри помещений, где отсутствует возможность компенсации погрешностей средствами спутниковой навигации. В связи с этим возникает необходимость поиска нового способа для постоянной компенсации накапливающейся погрешности в определении местоположения с течением времени. Предлагаемый способ должен отличаться своей компактностью применяемых датчиков, автономностью и основываться на неинерциальном принципе измерения. Поэтому анализу существующих подходов и выбору элементной базы должно отводиться особое внимание.

В диссертационном исследовании Купоросовой Елены Серафимовны решается актуальная **научная задача** обоснования построения автономной



персональной информационно-измерительной системы наземного позиционирования с коррекцией углов наклона по опорной поверхности. Для этого автор разрабатывает способы и алгоритмы, которые базируются на основных положениях теоретической механики и теории проективной геометрии. **Объектом исследования** являются автономные персональные информационно-измерительные системы, эксплуатируемые в пространстве, недоступном для средств спутниковой навигации. Для решения поставленной задачи предлагаются различные методы, модели и алгоритмы, а также их программная реализация, используемые для повышения точности информационно-измерительной системы, что составляет **предмет** диссертационного исследования. Кроме того, в работе использованы методы математического моделирования, методы статистической обработки и оптимальной фильтрации экспериментальных данных, методы анализа и синтеза измерительных каналов, методы исследования и оценки эффективности информационно-измерительных систем.

Особое значение в работе отводится оценке эффективности разработанных методов на имитационной математической модели, использование которой позволило подтвердить как их практическое применение, так и возможность отладки разработанных алгоритмов и проектирования информационно-измерительной системы.

Текущее развитие микросистемных технологий предъявляет требования по увеличению точности разрабатываемых на их базе систем и их массогабаритных характеристик. В связи с этим, выбранная автором перспектива применения микроэлектромеханических датчиков, реализованная в информационно-измерительной системе наземного позиционирования, свидетельствует об актуальности выбранной темы исследования.

2. Анализ научных положений, выводов и рекомендаций, содержание работы

В качестве цели диссертации соискатель выбрал повышение точности определения местоположения наземного подвижного объекта с помощью автономной персональной информационно-измерительной системы. В основе достижения цели лежит разработка методов компенсации накапливающейся со временем погрешности в определении угловой ориентации блока датчиков первичной информации, закрепленного на подвижном объекте. Эффективность разработанных способов подтверждается высокой точностью позиционирования по сравнению с существующими системами, за счет чего могут быть сведены к минимуму человеческие потери, связанные с недостоверной информацией в определении координат местоположения.

Выбранная цель диссертации соответствует содержанию проведенных исследований. В работе проведено комплексное решение заявленных соискателем задач для достижения поставленной цели: проведен обзор существующих в настоящее время методов повышения точности персональных информационно-измерительных систем, рассмотрены как традиционные методы (комплексирование), так и нетрадиционные (эвристические методы), выполнена их классификация с выявлением их достоинств и недостатков;

разработан новый эффективный способ и алгоритм для определения углов наклона относительно плоскости горизонта без накопления погрешности измерения на основе коррекции по опорной поверхности; проведена оценка погрешностей определения углов наклона относительно опорной поверхности методами факторного эксперимента; разработаны методы повышения точности персональной информационно-измерительной системы; проведено комплексное исследование разработанных методов на базе имитационной математической модели, построенной с использованием экспериментальных данных и предназначенной для решения практических задач. В связи с этим считаю, что по характеру цели и составу решенных в диссертации задач работа Е.С. Купоросовой соответствует следующим пунктам раздела «Области исследований» паспорта специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в приборостроении): пункт 1 паспорта «Научное обоснование перспективных информационно-измерительных ... систем, ... повышение эффективности существующих систем», пункт 6 паспорта «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых ... образцов информационно-измерительных ... систем, улучшение их технических, эксплуатационных ... характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений», пункт 5 паспорта «Методы анализа технического состояния, диагностики и идентификации информационно-измерительных ... систем».

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 74 наименований, и пяти приложений, содержит 227 страниц, из которых 152 страницы основного текста, включающего 9 таблиц и 42 рисунка. Приложения занимают 75 страниц.

Во введении показана актуальность выбранной темы исследования, определены цель и задачи, решение которых необходимо для ее достижения, сформулированы научная новизна и практическая значимость положений и результатов диссертации.

В первой главе диссертации проводится анализ предметной области и ставится задача разработки способа определения углов наклона блока датчиков первичной информации относительно плоскости горизонта с помощью дополнительных датчиков, использующих неинерциальный принцип измерения, свободных от радиотехнических помех и допускающих по своим геометрическим параметрам компактную установку на блоке датчиков первичной информации.

В разделе 1.1 приводятся сведения о составе автономной персональной информационно-измерительной системы наземного позиционирования.

В разделе 1.2 приведена классификация методов повышения точности автономных персональных информационно-измерительных систем. Автор разделяет основные методы, применяемые сегодня на практике, на две группы, которые, в свою очередь, подразделяет на подгруппы.

В разделе 1.3 обсуждаются традиционные методы компенсации систематических погрешностей датчиков первичной информации.

В разделе 1.4 рассматриваются вопросы компенсации случайных погрешностей датчиков первичной информации с помощью методов

оптимальной фильтрации.

В разделе 1.5 автор описывает методы комплексирования. Приводятся подробное описание и изложение всех возможных методов для персональных информационно-измерительных систем, применяемых в настоящее время для повышения точности. Изучены способы, предлагаемые как отечественными, так и зарубежными исследователями.

В разделе 1.6 приводятся методы повышения точности алгоритма счисления пути, которые базируются на эвристических подходах.

В разделе 1.7 автор приводит сравнительную характеристику всех рассмотренных методов повышения точности с выявлением их достоинств и недостаткам. На основе проведенного анализа производится постановка цели и задач исследования.

Вторая глава посвящена разработке способа определения углов наклона блока датчиков первичной информации относительно плоскости горизонта без накопления погрешности измерения.

В разделе 2.1 производится постановка задачи.

В разделе 2.2 приводится обзор датчиков расстояния, в качестве которых для использования в работе выбраны лазерные дальномеры.

В разделе 2.3 описывается структура дополнительной системы угловой ориентации с дальномерами. Автор предлагает установить на блоке датчиков первичной информации несколько дальномеров, измеряющих расстояния от мест их установки до опорной поверхности, измерительные оси которых ориентированы определенным образом относительно связанной системы координат.

В разделе 2.4 автор строит математическую модель расстояния до опорной горизонтальной поверхности.

В разделе 2.5, используя конструктивную схему расположения дальномеров на блоке датчиков первичной информации, а также выходные сигналы дальномеров, разработан алгоритм определения опорных углов наклона блока датчиков первичной информации относительно горизонтальной поверхности для произвольного числа дальномеров. Для разработанного алгоритма предложена блок-схема его применения в информационно-измерительной системе.

В разделе 2.6 рассматривается применение разработанного алгоритма с использованием показаний трех и четырех дальномеров. Предлагаются оптимальные аналитические выражения для определения опорных углов наклона, отличающиеся простотой своей структуры и универсальностью применения.

В разделе 2.7 автор строит математическую модель расстояния до опорной поверхности, плоскость которой имеет уклон по отношению к плоскости горизонта.

В разделе 2.8 подробно описан этап построения алгоритма определения углов уклона опорной поверхности относительно плоскости горизонта.

В разделе 2.9 приводится алгоритм, реализующий определение углов наклона блока датчиков первичной информации относительно плоскости горизонта. Автор впервые, что не встречалось в информационных источниках,

предлагает блок-схему применения данного алгоритма в автономной персональной информационно-измерительной системе наземного позиционирования.

Третья глава диссертации посвящена оценке погрешностей определения углов наклона блока датчиков первичной информации относительно опорной поверхности.

В разделе 3.1 производится постановка задачи.

В разделе 3.2 представлен вывод аналитической зависимости расстояния, измеряемого дальномерами, от инструментальных погрешностей.

В разделе 3.3 раскрывается теоретическая часть получения уравнений чувствительности погрешностей определения опорных углов к инструментальным погрешностям.

В разделе 3.4 автор умело использует положения математической статистики для проведения соответствующих расчетов особенно при проведении факторного эксперимента в пространстве конструктивных параметров установки дальномеров на блоке датчиков первичной информации.

В разделе 3.5 автор делает вывод о необходимости применения алгоритмической компенсации инструментальных погрешностей системы и предлагает интересную схему ее выполнения.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке методов повышения точности автономной персональной информационно-измерительной системы наземного позиционирования.

В разделе 4.1 производится постановка задачи.

В разделе 4.2 описывается схема комплексной системы угловой ориентации.

В разделе 4.3 приводится алгоритм обнуления выходов интеграторов, реализующий традиционные эвристические методы, характерные для применения в системах наземного позиционирования.

В разделе 4.4 приводится алгоритм коррекции путевой скорости подвижного объекта на приоритетных направлениях, использующий информацию о схеме планировки помещения.

Пятая глава диссертации посвящена разработке и экспериментальным исследованиям имитационной математической модели автономной персональной информационно-измерительной системы наземного позиционирования.

В разделе 5.1 производится постановка задачи.

В разделе 5.2 строится модель движения подвижного объекта, которая отличается тем, что параметры углового и поступательного движения построены с учетом реально полученных экспериментальных данных.

В разделе 5.3 описывается модель информационно-измерительной системы. Приводятся структурные схемы, реализующие методы и алгоритмы, разработанные в предыдущих главах диссертации.

В разделе 5.4 проверка разработанных методов и алгоритмов на базе имитационной математической модели производится сопоставлением результатов позиционирования без комплексирования и с применением предлагаемых методов. В результате сравнения результатов работы системы в

различных режимах получены данные, подтверждающие эффективность методов и алгоритмов, предложенных в работе.

В приложениях приведены результаты оценки функционирования пешеходной навигационной системы зарубежного производства, кинематические схемы и системы координат, листинги программ, структурные схемы имитационной математической модели и акт внедрения результатов работы.

Таким образом, материалы диссертации полностью отражают объем и сложность проделанной автором работы. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

3. Новизна исследования и полученных результатов

1. Разработан новый способ определения углов наклона блока датчиков первичной информации относительно как опорной плоскости, так и плоскости горизонта, а также алгоритм его реализации. Данный способ заключается в компенсации накапливающейся с течением времени погрешности в определении этих углов посредством установки на блоке датчиков первичной информации нескольких дальномерных датчиков.

2. Разработано устройство определения углов наклона блока датчиков первичной информации относительно как опорной плоскости, так и плоскости горизонта. Отличительным преимуществом данного устройства является применение схемы комплексирования инерциальной и дальномерной систем угловой ориентации, что обеспечивает компенсацию накапливающейся с течением времени погрешности в определении угловой ориентации блока датчиков первичной информации.

3. Разработана имитационная математическая модель автономной персональной информационно-измерительной системы. Модель представляет собой структурную схему, состоящую из трех базовых блоков: блока модели движения наземного подвижного объекта, блока персональной информационно-измерительной системы, блока индикации параметров движения, разработанных автором и реализующих методы анализа технического состояния, диагностики и идентификации информационно-измерительной системы.

4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность полученных автором результатов не вызывает сомнения. Положения, выносимые на защиту, обоснованы использованием теории математического моделирования, статистической обработки и анализа экспериментальных данных. Обоснованность выводов об эффективности предложенных методов и алгоритмов подтверждена соответствующими математическими расчетами, результатами исследований и экспериментов, а также их сравнением с результатами других авторов по разработке подобных систем.

Основные результаты и выводы по диссертации опубликованы в 2-х статьях в журналах, входящих в актуальный Перечень ВАК по специальности

05.11.16, отражены в 2-х патентах на изобретения, а также в 3-х сборниках материалов международных научных конференций, что также подтверждает достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций выполненного диссертационного исследования.

5. Значимость для науки и практики выводов и результатов

К выводам и результатам диссертации, имеющим научную значимость, следует отнести разработанные методы и алгоритмы определения углов наклона блока датчиков первичной информации относительно как опорной плоскости, так и плоскости горизонта. К выводам и результатам диссертации, имеющим практическую значимость, следует отнести разработанную имитационную математическую модель автономной персональной информационно-измерительной системы наземного позиционирования, позволяющую с высокой степенью информационной надежности определять точность позиционирования при смене режимов работы системы, а также обрабатывать полученные экспериментально массивы данных с датчиков при подаче их на вход системы.

6. Замечания по диссертации

1. На стр. 36 указано, что малогабаритные лазерные дальномеры имеют точность измерения менее 1 мм, тогда как на официальном сайте фирмы «FLIR system», указанном в списке литературы под номером 57, удалось найти лишь один малогабаритный лазерный дальномер MLR 100 размерами 32 × 32×41 мм, весом 22 г., что, в принципе, подходит под решаемую задачу по дальности измерения от 0 до 100 м с погрешностью измерения 0, 2 м, что составляет 0, 2 %. В работе не указано, какой тип дальномера дает точность 1 мм, указанный в работе.

2. В разработанной схеме используются 3 или 4 лазерных дальномера. Из работы не совсем ясно, как осуществляется их юстировка относительно расположения инерциальных датчиков в корпусе прибора. Как они расположены друг относительно друга, когда, например, используется 4 дальномера? Имеет место избыточность, как в БИНС, или же просто дублирование информации при измерении расстояния до одной какой – либо плоскости?

3. В работе нет требований к инерциальным датчикам, а конкретно не указаны: диапазон измерения, погрешность масштабного коэффициента и смещения нуля, временная стабильность этих параметров, характерная для классических БИНС, где определяющее значение имеет погрешность базовых характеристик между запусками, ведь от класса МЭМС, определяемого по этим характеристикам, зависит, в конечном счёте, стоимость всей системы в целом.

4. В качестве общего замечания по работе следует отметить увлечённость автора математическими выкладками и не достаточного внимания к техническим характеристикам применяемых датчиков. Понятно, что данные приборы являются покупными и их разработка не входит в

компетенцию автора, но, на мой взгляд, в тексте работы, все-таки необходимо было им уделить какое – то внимание.

Отмеченные недостатки ни в коем случае не снижают научную и практическую ценность работы, её современность по поставленной цели, и бесспорную актуальность.

Таким образом, диссертационная работа соответствует пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Купоросова Елена Серафимовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – Информационно – измерительные и управляющие системы (в приборостроении).

Официальный оппонент,
начальник НИЛ № 230 КБ филиала
ФГУП «НПЦ АП» – «ПО «Корпус», д.т.н.
Адрес (рабочий) 410019, г. Саратов,
ул. Осипова 1.
Телефон (мобильный) 89172166135
E-mail: lidkalihman@yandex.ru.

Д.М. Калихман.

Подпись Д.М. Калихмана заверяю.
Начальник УК № 125 филиала ФГУП
«НПЦ АП» – «ПО «Корпус»



С.Ю. Моисеева.

Моисеева
06.05.19.