

УДК 629.05+629.13+681.13

ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Щипицын А.Г.

*Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет,
Челябинск, e-mail: ags477893@mail.ru)*

Приведён краткий обзор работ автора, аспирантов, соискателей и научных сотрудников Национального исследовательского Южно-Уральского государственного университета в рамках проблемы «Математические модели синтеза инерциальных навигационных систем». Наиболее существенные результаты работ по указанной проблеме в силу объективных и субъективных обстоятельств были получены в интервал времени с 1980 по 2010 год. Решения большинства задач в рамках этой проблемы базируются на идеях повышения точности и построения инерциальных навигационных систем, защищённых авторскими свидетельствами и патентами. В рамках указанной проблемы решаются задачи математических, алгоритмических и программных разработок анализа и синтеза автономных и корректируемых инерциальных навигационных систем и их элементов для объектов ракетно-космического назначения. Перечислены основные направления работы в рамках рассматриваемой проблемы, исследования по которым проведены как отдельно по каждому из них, так и в сочетаниях друг с другом. Дано краткое содержание каждого направления с соответствующими ссылками на список литературы. В заключении сформулированы основные результаты выполненных работ и указаны перспективные направления для продолжения работы по рассматриваемой проблеме.

Ключевые слова: объект, инерциальная навигационная система, точность, анализ, синтез, калибровка, диагностика, начальная выставка, массо-геометрические характеристики, оптимальное управление, оптимальная фильтрация, математическое описание, алгоритм, программа.

OBJECTIVES AND RESULTS INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS

Shchipitsyn A.G.

National Research South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: ags477893@mail.ru)

A brief review over of works of author, graduate students, competitors and research workers of the National research South-Ural state University is given within the framework of problem the "Mathematical models of synthesis of inertial navigation systems". The most substantial results of works on indicated issue by virtue of objective and subjective circumstances have been received in the time interval from 1980 to 2010. Most tasks within this problem are based on ideas of accuracy and build inertial navigation systems, are protected by copyright certificates and patents. Problems of mathematical, algorithmic and software developments analysis and synthesis of Autonomous and corrected inertial navigation systems and their elements for the objects of rocket and space assignment are solved in the framework of this problem. The main areas of work listed in the present problem, in which research is carried out both separately for each of them, and in combinations with each other. Summary of each direction with the corresponding references in the bibliography is given. The main results of work performed are stated in the conclusion and future directions to continue work on the problem under consideration is specified.

Keywords: object, inertial navigation system, accuracy, analysis, synthesis, calibration, diagnostics, initial exhibition, the mass and geometric characteristics, optimal control, optimal filtration, mathematical description, algorithm, program.

Введение

В данной статье изложен краткий обзор работ автора, аспирантов, соискателей и научных сотрудников Национального исследовательского Южно-Уральского государственного университета в рамках проблемы «Математические модели синтеза инерциальных навигационных систем». Наиболее существенные результаты работ по указанной проблеме в силу объективных и субъективных обстоятельств были получены в интервал времени с 1980 по 2010 год, что и отражено в данной обзорной статье. Решения большинства задач в рамках этой проблемы базируются на идеях повышения точности и построения инерциальных навигационных систем (ИНС) и бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), защищённых авторскими свиде-

тельствами и патентами. В рамках указанной проблемы решаются задачи разработок математических, алгоритмических, программных обеспечений и имитационных моделей анализа и синтеза автономных и корректируемых ИНС и БИНС и их элементов для объектов ракетно-космического назначения.

В изобретениях [1, 2, 4, 18] зафиксирована идея по способам автономного повышения точности инерциальных навигационных систем путём оптимального разворота блока неидеальных акселерометров относительно стабилизированной платформы или оптимального разворота относительно объекта неидеального блока инерциальной информации (БИИ), состоящего из трёх акселерометров и трёх датчиков угловой скорости. Критерии оптимальности разворота:

минимум суммарной погрешности навигационной информации в конечный момент времени или в текущий момент времени движения объекта. При выполнении математического описания для указанных изобретений использован аппарат оптимального управления.

В изобретениях [20, 21] по способам построения инерциальных навигационных систем зафиксирована идея уменьшения количества инерциальных датчиков в системе путём принудительного вращения акселерометра относительно стабилизированной платформы или принудительного вращения относительно объекта двух датчиков, один из которых – акселерометр, второй – датчик угловой скорости. Если в дополнение к этим способам установить на оси вращения дополнительные датчики, то измеряемая ими информация и её обработка позволит получить избыточную инерциальную информацию с целью использования её для повышения точности навигационной информации. Область применения таких систем ограничивается объектами с медленно-меняющимися или с программно-меняющимися кинематическими характеристиками (КХ).

В изобретениях [4, 5, 19] по инерциальным датчикам зафиксирована идея создания двухрежимных и двухфункциональных датчиков, которые либо поочерёдно, либо одновременно выдают информацию о компонентах вектора кажущегося ускорения и вектора абсолютной угловой скорости объекта. Использование этого датчика в системах, построенных согласно способам [20, 21], позволяет создать БИНС, построенную на одном таком датчике.

Далее перечислены основные направления работы в рамках рассматриваемой проблемы, исследования по которым проведены как отдельно по каждому из них, так и в сочетаниях друг с другом. Дано краткое содержание каждого направления с соответствующими ссылками на список литературы, который включает в себя, примерно, половину общего списка литературы автора и соавторов по рассматриваемой проблеме за указанный интервал времени,

Калибровка

Задача калибровки неидеальных инерциальных датчиков является актуальной в случае, когда в течение интервала времени навигации объекта необходимо повышать точность инерциальной информации путём

алгоритмической компенсации погрешностей этих датчиков при условии задания их математических моделей погрешностей. В этом случае перед навигацией объекта определяют коэффициенты моделей погрешностей неидеальных инерциальных датчиков используемой ИНС на основе информации с инерциальных датчиков более точной ИНС. Так как используемая ИНС и более точная ИНС могут располагаться в разных местах относительно движущегося объекта и их БИИ могут быть по-разному ориентированы относительно объекта, то задача калибровки датчиков используемой ИНС сводится к согласованию её информации с информацией более точной ИНС, а математическое описание для этой задачи включает систему алгебраических уравнений относительно определяемых коэффициентов моделей погрешностей датчиков. Результат решения задачи калибровки – это 1) алгоритм для бортового компьютера (БК) определения коэффициентов моделей погрешностей датчиков используемой ИНС на основе информации более точной ИНС и 2) определение погрешностей калибровки, если более точную ИНС нельзя полагать идеальной по сравнению с используемой [9, 63, 64, 92, 95].

Диагностика

Задача диагностики неидеальных инерциальных датчиков является актуальной в случае, когда в течение интервала времени навигации объекта могут возникать информационные нарушения в работе того или иного датчика ИНС. Датчик с недостоверной информацией необходимо своевременно распознать, отключить измеряемую им информацию от системы и переключить на получение необходимой информации с дублирующего нормально работающего датчика. Вводится критерий информационного нарушения датчика. Математическое описание для решения этой задачи выполнено с использованием нейросетевого подхода. Результат решения задачи – это имитационная модель алгоритма для БК обнаружения информационных нарушений инерциальных датчиков ИНС [8, 10, 11, 12, 14, 82].

Начальная выставка

Задачи начальной выставки БИНС заключаются в определении параметров ориентации объекта относительно Земли в начальный момент времени его навигации и в определении требований к точностным ха-

рактикам инерциальных датчиков при заданном требовании к точности начальной выставки. Для решения этих задач выполняется математическое описание, которое включает:

1) систему алгебраических уравнений относительно параметров ориентации блока инерциальной информации (БИИ) относительно Земли, в правых частях которых – измеряемые компоненты вектора кажущегося ускорения и вектора абсолютной угловой скорости;

2) систему алгебраических уравнений относительно погрешностей параметров ориентации, в правых частях которых – погрешности указанных выше измеряемых компонент векторов. Решения этих систем доставляют решения задач начальной выставки [57, 93, 96, 97].

Функционирование

Для решения задач синтеза функционирования БИНС задаётся точка на объекте, которая далее называется полюсом, для которой осуществляется навигация объекта и являющейся началом заданной связанной с объектом системы координат, а также задаётся критерий качества функционирования БИНС. Выполняются математические описания, составляются алгоритмы, разрабатываются программы и имитационные модели получения навигационной информации об ориентации объекта (направляющих косинусах от земной системы координат к объектной системе координат), движении объекта (проекций вектора скорости полюса объекта в земной системе координат) и положении объекта (проекций радиуса-вектора полюса объекта в земной системе координат) на основе измеряемой информации с инерциальных датчиков с привлечением априорной информации о гравитационном поле Земли, вращении Земли и начальной ориентации, движении и положении объекта относительно Земли. Результаты этих исследований: 1) определение метода численного интегрирования дифференциальных уравнений функционирования БИНС, при котором удовлетворяется критерий качества; 2) определение таких характеристик БК, как объём памяти и быстродействие; 3) контроль работы алгоритма функционирования при загрузке его в БК на основе разработанной имитационной модели этого алгоритма [7, 27, 30, 32, 35, 37, 43, 51, 52, 53, 54, 55, 68, 78, 80, 87, 89, 90, 94].

Точность в узком смысле

Для решения задач точностного синтеза БИНС в узком смысле вводится критерий точности системы для данного класса объектов, задаётся информация о структуре погрешностей инерциальных датчиков, выполняется математическое описание в рамках стохастического подхода, составляются алгоритмы и разрабатываются программы с целью определения допустимых в смысле принятого критерия точности системы погрешностей инерциальных датчиков и определения допустимых погрешностей требуемой априорной информации. Результаты этих исследований заключаются в выборе имеющихся инерциальных датчиков для БИНС с критерием точности по данному классу объектов, удовлетворяющих найденным допустимым погрешностям, или открывается вопрос о разработке новых инерциальных датчиков требуемой точности [37, 38, 40, 41, 47, 52, 55, 68, 84, 85, 89, 98, 99].

Точность в широком смысле

Задачи точностного синтеза БИНС в широком смысле – это задачи автономного повышения точности БИНС. Для их решения вводится критерий точности БИНС для данного класса объектов и задаётся информация о структуре погрешностей инерциальных датчиков. Критерий точности БИНС минимизируется структурно-алгоритмическими способами. Рассмотрены такие способы, как оптимальная неподвижная выставка БИИ относительно объекта, принудительное вращение БИИ относительно объекта, оптимальный разворот БИИ относительно объекта и оптимальная фильтрация информации, измеряемой БИИ. Для выполнения математических описаний использован стохастический подход и аппараты минимизации функции нескольких переменных, оптимального управления и линейной оптимальной фильтрации. Результаты решения задач – это количественные эффекты повышения точности БИНС, алгоритмы обработки информации неидеальных датчиков, минимизирующие критерий точности БИНС для указанных способов, а также параметры структуры БИНС, реализующие эти способы [6, 13, 15, 23, 24, 52, 56, 58, 59, 60, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 76, 77, 79, 81, 84, 101].

Коррекция

Задача коррекции БИНС актуальна в случае, если в течение интервала времени её

автономного функционирования накопленные погрешности навигационной информации в смысле принятого критерия точности превышают допустимые значения. В этом случае используют неавтономные средства для доставки в заданные моменты времени в БК БИНС более точной навигационной информации, отбрасывая при этом навигационную информацию с накопленными погрешностями. Неавтономные средства – это астронавигационная система (АНС) и (или) спутниковая навигационная система (СНС). Для математического описания функционирования БИНС с коррекцией от АНС и (или) СНС используется аппарат оценивания переменных навигационной информации на основе методов линейной оптимальной фильтрации. Синтез функционирования корректируемой БИНС заключается в разработке имитационной модели алгоритма корректируемого функционирования и определения требований к объёму памяти и быстродействию БК, которые будут более жёсткими по сравнению с аналогичными требованиями к БК автономной БИНС. Точностный синтез корректируемой БИНС заключается в определении требований и к погрешностям БИИ, и к погрешностям информации, получаемой от АНС и (или) СНС [16, 17, 25, 26, 28, 29, 31, 33, 34, 36, 83, 88, 100].

Динамика и МГХ объекта

Целью исследования динамики объекта, для навигации которого разрабатывается БИНС, является получение имитационных моделей инерциальных датчиков БИНС на основе информации о моментно-силовых характеристиках (МСХ), массо-геометрических характеристиках (МГХ) и начальных условиях об ориентации, движении и положении объекта относительно Земли. БИНС генерирует информацию о кинематических характеристиках (КХ) объекта для системы управления этим объектом. Реальные объекты ракетно-космического назначения в общем случае имеют переменные во времени МГХ: массу, три проекции радиуса-вектора центра масс, три осевых и три центробежных момента инерции в связанной с объектом системе координат. Качественное управление объектом зависит от величин указанных МГХ. Поэтому актуальной является задача определения переменных во времени МГХ объекта. При условии наличия информации об МСХ объекта показано, что задача определения его МГХ имеет ре-

шение. Выполнение математического описания для её решения базируется на уравнениях динамики объекта, переписанных в виде систем дифференциальных уравнений относительно переменных МГХ, в правые части которых входят КХ объекта, получаемые от БИНС и заданные его МСХ. Набор указанных уравнений с присоединением уравнений функционирования БИНС и их решения с учётом некоторых особенностей обеспечивают решения рассматриваемой задачи. Следует отметить, что решение этой задачи требует дополнительных вычислительных ресурсов, которые для современных БК являются реальными. Другими словами, повышение качества управления объектом покупается ужесточением требований к БК. Если такие требования окажутся реальными и могут быть ещё жёстче, то при априорно заданных программно-меняющихся МГХ объекта для решения рассматриваемой задачи может быть использован математический аппарат теории линейной оптимальной фильтрации для оценивания переменных МГХ с целью повышения точности их определения [22, 39, 42, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 61, 73, 74, 86, 91].

Заключение

1. Разработки по способам автономного повышения точности ИНС путём оптимального разворота БИИ относительно объекта использованы при создании систем управления БРПЛ и обеспечили эффект повышения точности до 50%, за счёт чего был сэкономлен испытательный пуск БРПЛ в 1990 г. и в дальнейшем этот способ был использован при создании систем управления указанными объектами.

2. Математическое, алгоритмическое и программное обеспечение синтеза БИНС используется для поддержки принятия решений при разработке этих систем на предприятиях НПО автоматики (г. Екатеринбург), Хартрон (г. Харьков), Ижевский механический завод (г. Ижевск), Миасский электромеханический НИИ (г. Миасс Челябинской области), а также в преподавании профильных дисциплин учебного процесса кафедр приборостроения и систем управления Национального исследовательского Южно-Уральского государственного университета.

3. В работе по рассматриваемой проблеме приняли участие 67 сотрудников (47 – из Национального исследовательского Южно-

Уральского государственного университета, остальные – из других организаций РФ), в том числе 6 докторов технических наук и 17 кандидатов технических наук.

4. Опубликованы 222 работы, в том числе 13 патентов и авторских свидетельств на изобретения, 8 свидетельств о регистрации электронных ресурсов, 12 монографий и учебных пособий, 143 статьи в сборниках научных трудов вузов и профильных НПО и НИИ, 46 отчетов о НИР, из которых 6 – по грантам Министерства образования и науки РФ, остальные по заказам профильных предприятий.

5. Защищены пять кандидатских диссертаций, выполненных под научным руководством автора данной обзорной статьи: получили дипломы кандидатов технических наук Шафранюк А.В., Хаютин А.М., Шалимов Л.Н., Кондратов А.А., Деева А.С. Эти учёные в настоящее время продолжают работу по рассматриваемой проблеме.

6. Наиболее перспективные направления дальнейших исследований по проблеме, по мнению автора, – это работы по решению задач указанного выше раздела «Динамика и МГХ объекта», конечным результатом которых является повышение качества управления движением высокоскоростных и высокоманевренных объектов путём расширения функциональных возможностей автономных БИНС при использовании современных достижений инерциальных и компьютерных технологий с учётом дополнительной априорной информации о характеристиках таких объектов.

Список литературы

1. Авт.св. № 587763, 14.09.77.
2. Авт.св. № 601995, 14.12.77.
3. Авт.св. № 627699, 14.06.78.
4. Авт.св. № 753243, 7.04.80.
5. Авт.св. № 809940, 03.11.80.
6. Андрулов А.И., Щипицын А.Г. Подход к разработке математической модели прогибов корабля для задачи алгоритмического повышения точности навигационной системы автоматической посадки самолета: сб. науч. тр. ЮУрГУ «Информационно-измерительные и управляющие системы и устройства». – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – С. 72-83.
7. Бельский Л.Н. Система поддержки принятия решений при разработке бесплатформенных инерциальных навигационных систем для объектов одного класса / Бельский Л.Н., Дерюгин С.Ф., Шалимов Л.Н., Щипицын А.Г., Фокин Л.А. / Материалы XXIV конференции памяти Н.Н. Острякова // Гироскопия и навигация. – 2004. – № 4. – С. 93.
8. Деева А.С., Щипицын А.Г. Контроль и диагностика избыточной инерциальной навигационной системы // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – Вып. 5. – № 7(79). – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 12-17.
9. Деева А.С., Щипицын А.Г. Калибровка акселерометра и гироскопа на неподвижном относительно Земли основании с использованием аппарата нейронных сетей: сб. науч. тр. «Информационные системы и устройства». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 77-80.
10. Деева А.С., Щипицын А.Г. Контроль и диагностика информационных нарушений инерциальных навигационных систем с использованием банка вероятностных нейронных сетей // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № ОФАП 10952 от 01.07.2008.
11. Деева А.С., Щипицын А.Г. Математическое и алгоритмическое обеспечение диагностики инерциальных навигационных систем на основе нейросетевого подхода // Материалы 60-й юбилейной научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 22-24.
12. Деева А.С., Щипицын А.Г. Методы контроля и диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем // Вестник ЮУрГУ. Серия КТУР. – Вып. 11. – № 2(178). 2010. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – С. 21-25.
13. Деева А.С., Щипицын А.Г. Повышение точности инерциальной информации оптимальной выставкой датчиков в БИНС: материалы XXIV конференции памяти Н.Н. Острякова // Гироскопия и навигация. – 2004. – № 4. – С. 92.
14. Деева А.С., Щипицын А.Г. Результаты функционирования имитационной модели диагностики инерциальных навигационных систем на основе нейросетевого подхода: материалы 61-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. – Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 73-78.
15. Егоров К.В., Щипицын А.Г. Об одном автономном способе повышения точности инерциальных навигационных систем: сб. науч. тр. «Приборы и устройства САУ». – М.: НТО НИИП, 1977. – № 6. – С. 13-18.
16. Кондратов А.А., Кривоноженков В.А., Щипицын А.Г. О построении модели БИНС объекта одного класса с неинвариантными алгоритмами обработки информации // Вестник ЮУрГУ. Серия КТУР. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – Вып. 7. – № 3(103). – С. 12-15.
17. Кондратов А.А., Щипицын А.Г. Результаты моделирования в задачах синтеза функционирования и точности бесплатформенной инерциальной навигационной системы объекта одного класса // Материалы 62-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. – Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – С. 221-226.
18. Патент РФ № 1426192, 22.05.88.
19. Патент РФ № 1517486, 22.06.89.
20. Патент РФ № 2257547, 27.07.2005.
21. Патент РФ № 778455, 14.07.80.
22. Слепова С.В., Щипицын А.Г., Шахина М.А. Задача определения параметров геометрии масс тела на основе измеряемых характеристик его движения // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 12 (часть 3). – С. 442-445.
23. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Бесплатформенные ИНС для высокоточной околосредней навигации и спутниковой геодезии: анализ функционирования и погрешностей // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 3. – С. 133-145.
24. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Об одном случае аналитической интегрируемости нестационарного матричного обыкновенного дифференциального уравнения // Дифференциальные уравнения. – 2008. – Т. 44, № 9. – С. 1290-1292.
25. Фокин Л.А. Научно-технические, образовательные и HR-факторы эффективной разработки интегрированных навигационных систем / Фокин Л.А., Садов В.Б., Шахина М.А., Щербаков В.П. // Вестник ЮУрГУ. Сер. КТУР. – Челябинск: Издат. Центр ЮУрГУ, 2011. – Вып. 14. – № 23. – С. 26-29.

26. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Задачи разработки интегрированной инерциально-астро-спутниковой навигационной системы // *Материалы 60-й юбилейной научной конференции «Наука ЮУрГУ»*. Секции технических наук. – Т. 2. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 125-130.
27. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. К задаче разработки удалённой базы данных инерциальных датчиков: сб. науч. тр. «Системы управления и информационные технологии». – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 190-194.
28. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Методы пространства состояний в задаче синтеза слабосвязанной инерциально-спутниковой навигационной системы // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2006. – Вып. 4. – № 14 (69). – С. 148-155.
29. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Моделирование и синтез точности сильносвязанной интегрированной инерциально-астро-спутниковой навигационной системы // 7-я международная конференция «Авиация и космонавтика – 2008»: тезисы докладов. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. – С. 148.
30. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Моделирование решения навигационной задачи бесплатформенной инерциальной навигационной системой: сб. науч. тр. II научно-технической конференции молодых специалистов НПОА. Ракетно-космическая техника. Системы управления ракетных комплексов. Екатеринбург, 8–9 апреля 2004 г. – Екатеринбург, 2004. – Вып. 1. – Ч. 2. – С. 63-69.
31. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Модель погрешностей для задачи интегрирования бесплатформенной инерциальной и спутниковой навигационных систем // *Труды XXVI Российской школы по проблемам науки и технологий*. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С. 238-240.
32. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. О распространённых постановках и способах решения задач навигации БИНС: сб. науч. тр. «Интеллектика, логистика, системология». – Челябинск: Изд-во ЧНЦ РАЕН, РУО МАИ, ЧРО МАНПО, ЧРО МААНОИ, 2006. – Вып. 16. – С. 41-50.
33. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Подходы к решению задач повышения точности информации об ориентации в инерциально-спутниковых навигационных системах: материалы XXIV конференции памяти Н.Н. Острякова // *Гирология и навигация*. – 2004. – № 4. – С. 88.
34. Фокин Л.А., Щипицын А.Г., Козлов А.В. Структура погрешности временного обеспечения космического сегмента спутниковой навигационной системы: сб. науч. тр. III научно-технической конференции молодых специалистов НПОА. Ракетно-космическая техника. Системы управления ракетных комплексов. Екатеринбург, 10-11 апреля 2006 г. – Екатеринбург, 2006. – Вып. 1. – Ч. 1. – С. 105-116.
35. Фокин Л.А., Щипицын А.Г., Разнополов К.О. Имитационное моделирование функционирования бесплатформенной инерциальной навигационной системы: сб. науч. тр. «Интеллектика, логистика, системология». – Челябинск: Изд-во ЧНЦ РАЕН, РУО МАИ, ЧРО МАНПО, ЧРО МААНОИ, 2003. – Вып. 12. – С. 96-103.
36. Фокин Л.А., Щипицын А.Г., Разнополов О.А. Математическая модель интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системы объекта космического назначения: сб. науч. тр. III научно-технической конференции молодых специалистов НПОА. Ракетно-космическая техника. Системы управления ракетных комплексов. Екатеринбург, 10-11 апреля 2006 г. – Екатеринбург, 2006. – Вып. 1. – Ч. 1. – С. 132-143.
37. Шалимов Л.Н. Автономные бесплатформенные инерциальные навигационные системы: Анализ функционирования и точности / Л.Н. Шалимов, А.Г. Щипицын, Л.А. Фокин, М.А. Шахина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 228 с.
38. Шалимов Л.Н., Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Прикладной программный продукт анализа и синтеза точности бесплатформенных инерциальных навигационных систем // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2005. – № 12. – С. 15-21.
39. Шалимов Л.Н., Щипицын А.Г. Подход к построению математической модели движения объекта управления // *Труды XXXIV Уральского семинара «Механика и процессы управления»*. – Т. 2. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 263-268.
40. Шалимов Л.Н., Щипицын А.Г., Фокин Л.А. Имитационный комплекс анализа и синтеза точности бесплатформенных инерциальных навигационных систем // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2004. – Вып. 3. – № 9 (38). – С. 89-93.
41. Шалимов Л.Н., Щипицын А.Г., Фокин Л.А. Методика автоматизированного синтеза точности БИНС при случайных погрешностях измерительной и априорной информации // *Труды XXVI Российской школы по проблемам науки и технологий*. – Миасс, 2006. – С. 53.
42. Шалимов Л.Н., Щипицын А.Г., Щипицына М.А. Математическое описание функционирования бесплатформенной инерциальной навигационной системы для объекта ракетно-космического назначения: сб. науч. тр. научно-технической конференции молодых специалистов НПОА «Ракетно-космическая техника. Системы управления ракетных комплексов». Серия XI. Часть 1. – Екатеринбург: НПОА, 2008. – С. 72-81.
43. Шафранюк А.В., Щипицын А.Г. Построение и классификация сканирующих инерциальных навигационных систем: сб. науч. тр. «Информационные, измерительные, управляющие и радиоэлектронные системы и устройства». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – С. 125-137.
44. Шахина М.А. Задача определения массогеометрических характеристик по информации бесплатформенной инерциальной навигационной системы: материалы первой научной конференции аспирантов и докторантов «Научный поиск». Технические науки. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 227-231.
45. Шахина М.А., Устюгов М.Н. О возможности определения переменных массогеометрических характеристик объекта по информации бесплатформенной инерциальной навигационной системы: материалы 61-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции техн. наук. Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 53-56.
46. Шахина М.А., Устюгов М.Н. Приближение заданных таблично функций времени массогеометрических характеристик объекта одного класса: материалы 62-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – С. 232-236.
47. Шахина М.А., Шалимов Л.Н. Математическое описание анализа точности автономной бесплатформенной инерциальной навигационной системы: материалы 61-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции техн. наук. Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 57-59.
48. Шахина М.А., Щипицын А.Г. Имитационная модель эксперимента по определению моментов инерции вращающегося тела по информации датчиков угловой скорости: материалы 62-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – С. 213-217.
49. Шахина М.А., Щипицын А.Г. Пакет программ для определения переменной массы движущегося тела на основе инерциальной информации // *Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 16277 от 14.10.2010*.
50. Шахина М.А., Щипицын А.Г. Пакет программ для определения переменного момента инерции движущегося тела на основе инерциальной информации // *Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 16287 от 01.11.2010*.
51. Щипицын А.Г., Баранова И.А. Задачи разработки инерциальной навигационной системы со сканирующими датчиками: в кн. «Труды Международного Форума по про-

- блемам науки, техники и образования». Том 2. – М.: Академия наук о Земле, 2001. – С. 123-125.
52. Щипицын А.Г. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: учебное пособие. – Челябинск: ЧГТУ, 1993. – 108 с.
53. Щипицын А.Г. Задачи разработки математического и алгоритмического обеспечения синтеза бесплатформенных инерциальных навигационных систем // Труды XXVIII Российской школы «Наука и технологии». Том 2. Специальный выпуск, посвященный 65-летию Южно-Уральского государственного университета. – М.: РАН, 2008. – С. 51-54.
54. Щипицын А.Г. Задачи разработки математического и алгоритмического обеспечения синтеза бесплатформенных инерциальных навигационных систем для объекта ракетно-космического назначения / Щипицын А.Г., Шалимов Л.Н., Фокин Л.А., Деева А.С., Устюгов М.Н., Шахина М.А. // Рефераты докладов XXVI конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова. – СПб.: ЦНИИ Электроприбор, 2008. – С. 23.
55. Щипицын А.Г. Инерциальные навигационные системы. Анализ функционирования и точности: учебное пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 1998. – 116 с.
56. Щипицын А.Г. К задаче анализа эффекта повышения точности информационного канала инерциальной навигационной системы // Материалы 61-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т.2. – Челябинск: Издат. Центр ЮУрГУ, 2009. – С. 60-63.
57. Щипицын А.Г. К задаче определения начальной ориентации объекта бесплатформенной инерциальной навигационной системой / А.Г. Щипицын, М.А. Щипицына, С.В. Слепова // XXV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 60-летию Победы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – С. 266-268.
58. Щипицын А.Г. К задаче повышения точности воспроизведения базовой системы отсчёта на подвижном объекте методом оптимизации ориентации измерительного трёгранника: сб. научн. тр. ХАИ «Системы управления ЛА». – Харьков: ХАИ, 1979. – № 5. – С. 25-31.
59. Щипицын А.Г. К задаче повышения точности инерциальной навигационной системы оптимальной ориентацией акселерометров: сб. научн. тр. МАИ. Вып. 504. – М.: МАИ, 1979. – С. 35-48.
60. Щипицын А.Г. К задаче точностного синтеза инерциальной навигационной системы: сб. научн. тр. ЧПИ. – Челябинск: ЧПИ, 1985. – С. 102-105.
61. Щипицын А.Г. К определению переменной массы движущегося тела на основе инерциальной информации: в кн.: материалы 62-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – С. 240-244.
62. Щипицын А.Г. Математическая модель для задачи повышения точности определения проекции вектора в инерциальной навигационной системе со сканирующим датчиком: сб. науч. тр. ЮУрГУ «Информационно-измерительные и управляющие системы и устройства. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – С. 83-89.
63. Щипицын А.Г. Математическое и алгоритмическое обеспечение калибровки инерциальной навигационной системы на движущемся объекте: материалы 60-й юбилейной научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 137.
64. Щипицын А.Г. Математическое и алгоритмическое обеспечение процедуры калибровки инерциальных навигационных систем: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 163 с.
65. Щипицын А.Г. Об использовании информации о погрешностях датчиков для повышения точности инерциальной навигационной системы: сб. научн. тр. ТПИ «Влияние вибраций, линейных ускорений и вращения основания на поведение гироскопических устройств». – Томск: ТПИ, 1981. – С. 81-84.
66. Щипицын А.Г. Об одном автономном методе повышения точности бесплатформенной инерциальной навигационной системы: сб. науч. тр. школы «Теоретические проблемы построения БИНС». – М.: ИПМ, 1978. – С. 58-65.
67. Щипицын А.Г. Об одном методе автономного повышения точности инерциальной навигационной системы: сб. научн. тр. ППИ «Навигационные приборы и системы управления». – Пермь: ППИ, 1981. – С. 47-52.
68. Щипицын А.Г. Обработка информации в инерциальных навигационных системах: монография. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 339 с.
69. Щипицын А.Г. Оптимизация закона принудительного вращения измерительных осей гироскопов в инерциальной навигационной системе: сб. науч. тр. ЧПИ. – Челябинск: ЧПИ, 1976. – № 189. – С. 20-30.
70. Щипицын А.Г. Оценка эффекта повышения точности инерциальной информации оптимальной фильтрацией сигналов датчиков: сб. науч. тр. ЧГТУ «Системы автоматики и их элементы». – Челябинск: ЧГТУ, 1991. – С. 67-70.
71. Щипицын А.Г. Павлов В.В. Математическая модель для задачи повышения точности блока инерциальной информации алгоритмической компенсации сигналов датчиков: сб. науч. тр. ХАИ «Проектирование цифровых систем управления ЛА». – Харьков: ХАИ, 1991. – С. 85-90.
72. Щипицын А.Г. Подходы к решению проблем структурно-алгоритмического повышения точности бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Труды XXIII Российской школы «Наука и технологии». Специальный выпуск, посвященный 60-летию Южно-Уральского государственного университета. – М.: УрО РАН, ВАК РФ, Межрегион. Совет по науке и технологиям, 2003. – С. 479-488.
73. Щипицын А.Г. Программа определения параметров геометрии масс тела на основе измеряемых характеристик его движения // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 20874 от 15.05.2015.
74. Щипицын А.Г. Программное обеспечение оценивания состояния динамического процесса с эффективными ограничениями на его параметры // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21249 от 15.10.2015.
75. Щипицын А.Г. Способ минимизации погрешностей навигационной информации БИНС: сб. ст. школы «Теоретические проблемы построения БИНС». – М.: ИПМ, 1974. – С. 49-50.
76. Щипицын А.Г. Теория расчёта и проектирования электромеханических приборов и систем. Часть 2. Принципы построения и методы повышения точности приборов и систем: текст лекций. – 2-е изд. – Челябинск: ЮУрГУ, 1998. – 162 с.
77. Щипицын А.Г. Теория расчёта и проектирования электромеханических приборов и систем. Часть 4. Схемы приборов и систем: текст лекций. – 2-е изд. – Челябинск: ЮУрГУ, 1998. – 92 с.
78. Щипицын А.Г., Верясов А.В. Анализ инерциальной навигационной системы со сканирующим датчиком // Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 960492 от 19.11.96.
79. Щипицын А.Г., Губницкий А.Ф. Алгоритмы функционирования, точностный синтез и идентификация БИНС // Известия вузов. Приборостроение. – 1990. – № 1. – С. 63-69.
80. Щипицын А.Г., Губницкий А.Ф., Денисов Ю.П. Бортовой вычислитель для БИНС: сб. науч. тр. ХАИ «Автоматизация проектирования цифровых систем управления ЛА». – Харьков: ХАИ, 1987. – С. 67-72.
81. Щипицын А.Г., Гуркин О.Г. Основы идентификации и оптимизации систем: учебное пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 118 с.

82. Щипицын А.Г., Деева А.С. Некоторые результаты исследования задачи контроля и диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем: сб. науч. тр. «Системы управления и информационные технологии». – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 213-218.
83. Щипицын А.Г., Кондратов А.А. Пакет прикладных программ для разработки и проектирования комплексной навигационной системы маневренного летательного аппарата: сб. науч. тр. «Системы управления и информационные технологии». – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 218-222.
84. Щипицын А.Г., Пляшник В.А. Пакет прикладных программ «Анализ БИНС» // Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 950325 от 19.09.95.
85. Щипицын А.Г., Пляшник В.А. Программа для численного моделирования анализа бесплатформенных инерциальных навигационных систем: учебное пособие для лабораторных занятий на ПЭВМ. – Челябинск, ЧГТУ, 1995. – 83 с.
86. Щипицын А.Г., Слепова С.В., Шахина М.А. Программа для ЭВМ: Приближение массогеометрических характеристик летательного аппарата функциями времени // Свидетельство о регистрации электронного ресурса №15952 от 19.07.2010.
87. Щипицын А.Г., Хаютин А.М., Хаютин М.И. Система обработки информации динамического стенда: алгоритмы работы и математические модели: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 104 с.
88. Щипицын А.Г., Шалимов Л.Н., Кондратов А.А. Подходы к решению задач исследования корректируемой бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Материалы 61-й научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – С. 68-73.
89. Щипицын А.Г., Шалимов Л.Н., Фокин Л.А. Математическое и алгоритмическое обеспечение синтеза автономных инерциальных навигационных систем: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 149 с.
90. Щипицын А.Г., Шалимов Л.Н., Фокин Л.А. Математическое и алгоритмическое обеспечение анализа бесплатформенных инерциальных навигационных систем для объектов воздушного старта: материалы 60-й юбилейной научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 135-136.
91. Щипицын А.Г., Шалимов Л.Н., Щипицына М.А. К задаче повышения точности управления объектом ракетно-космического назначения // 7-я международная конференция «Авиация и космонавтика – 2008»: тезисы докладов. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. – С. 140.
92. Щипицын А.Г. Математическое описание для процедуры калибровки инерциальной навигационной системы // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – Вып. 5. – № 7(79). – С. 52-61.
93. Щипицына М.А. Математическая модель синтеза точности определения параметров начальной ориентации объекта бесплатформенной инерциальной навигационной системой: сб. рефератов научно-исследовательских работ студентов по конкурсу грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 152-153.
94. Щипицына М.А., Слепова С.В. К задаче разработки алгоритма функционирования бесплатформенной инерциальной навигационной системы с учетом информации о движении объекта: сб. материалов 4-й международной научно-практической конференции «Составляющие научно-технического прогресса» 23-24 апреля 2008 г. – Тамбов: Издательство ТАМБОВПРИНТ, 2008. – С. 138-142.
95. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Калибровка акселерометра бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – Вып. 4. – № 14(69). – С. 140-143.
96. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Математическая модель для задачи определения параметров начальной ориентации объекта бесплатформенной инерциальной навигационной системой // Труды XXVI Российской школы по проблемам науки и технологий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С. 241-243.
97. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Математическая модель для задачи синтеза точности начальной выставки бесплатформенной инерциальной навигационной системы: сб. науч. тр. «Информационные системы и устройства». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 102-108.
98. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Некоторые рекомендации по результатам моделирования задачи идентификации погрешностей инерциальной навигационной системы: сборник 1-й международной научно-практической конференции «Интеграция науки и производства» 19-20 мая 2008 г. – Тамбов: Издательство ТАМБОВПРИНТ, 2008. – С. 106-107.
99. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Разработка программного обеспечения и результаты численного моделирования задачи идентификации погрешностей инерциальных навигационных систем: материалы 60-й юбилейной научной конференции «Наука ЮУрГУ». Секции технических наук. Т. 2. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 133-135.
100. Fokin L. Adaptive SINS/ANS/GNSS for Air-Launch Space Launcher: Algorithm Design and Performance Analysis / L. Fokin, A. Shchipitsyn, Y. Shtessel // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference Proceedings, USA, South Carolina, Aug. 20-23, 2007.
101. Fokin L., Shchipitsyn A. Innovation-based adaptive Kalman filter derivation // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2009) Proceedings, Mar. 27-28, 2009. – IEEE, 2009. – P. 318-323.