

М.И.ЗАХАРИН, А.П.ПАНОВ, Ю.М.ЗЛАТКИН *

(Киевский институт военно-воздушных сил, Украина)

40 ЛЕТ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ В УКРАИНЕ

Кратко изложены основные результаты исследований по проблемам бесплатформенных инерциальных систем БИНС, проводившихся в Украине, начиная с 1957 г. Намечены главные направления дальнейших исследований.

В 1957—1962 гг. в Киевском ВИАВУ под руководством М.И.Захарина проводились теоретические исследования путей повышения точности инерциальных систем навигации (ИСН) для летательных аппаратов (ЛА) ВВС. В процессе исследований угла в 1957 г. были выведены уравнения пространственной навигации применительно к ИСН с гиросtabilизированной платформой (ГСП) с учетом несферичности земной поверхности и нецентральности поля сил земного тяготения: в результате анализа методических и инструментальных погрешностей ИСН были выявлены неустойчивость ИСН по вертикальному каналу и наличие перекрестных связей между каналами по составляющим вектора скорости движения объекта относительно земной поверхности и вектора угловой скорости вращения Земли. В 1958 г. было показано, что для повышения точности инерциальной навигации физическое моделирование положения текущей вертикали и базовой системы координат, которое производится в ИСН с ГСП, целесообразно заменить математическим моделированием в бортовом вычислителе по информации, полученной от соответствующих инерциальных датчиков (гироскопов и акселерометров), установленных непосредственно на объект (без ГСП); таким образом, был фактически предложен новый класс ИСН — бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС).

Показано, что БИНС можно строить по трем вариантам схем, отличающихся друг от друга комплектовкой датчиков:

акселерометрический вариант с шестью попарно разнесенными линейными акселерометрами;

вариант с тремя датчиками угловой скорости (ДУС) и тремя линейными акселерометрами;

вариант со свободными гироскопами и тремя линейными акселерометрами.

Для этих трех вариантов в 1958 г. были выведены уравнения пространственной инерциальной навигации с учетом несферичности земной поверхности и нецентральности поля сил земного тяготения, а также уравнения методических и инструментальных погрешностей; была проведена оценка этих погрешностей путем моделирования на ЭВМ и выявлены источники погрешностей и характер их изменения во времени. Установлено, что БИНС по вертикальному каналу также неустойчивы, даны рекомендации по уменьшению влияния вертикального канала на ошибки БИНС.

М.И.Захарин, А.П.Панов, Ю.М.Златкин — действительные члены Академии навигации и управления движением

Показано, что БИНС, по сравнению с платформенными системами, имеют большие перспективы в повышении точности, надежности, информативности, в снижении массы, габаритов, в сокращении времени готовности, в уменьшении стоимости серийного производства и эксплуатации, в более широкой возможности унификации, комплексирования и интегрирования с другими бортовыми системами в бортовых комплексах.

БИНС не накладывают ограничений на пространственное угловое движение объекта и могут обеспечить навигацию любого подвижного объекта по кратчайшим пространственным траекториям, проекции которых на поверхность геоида являются геодезическими линиями.

Основные результаты исследований 1957-1962 гг. изложены в пяти научных статьях, в монографии [1] и в докторской диссертации М.И.Захарина и защищены рядом авторских свидетельств.

В 1959 г. на базе Киевского ВИАВУ под руководством М.И.Захарина был организован постоянно действующий научный семинар по проблемам БИНС, который в дальнейшем превратился во Всесоюзную конференцию. Последняя ежегодно проводилась Киевской секцией Совета по проблемам навигации и управления движением на базе ИК АН Украины.

В 1963 - 1972 гг. в Киевском ВИАВУ ВВС и в ИК АН Украины под научным руководством М.И.Захарина были проведены исследования по обоснованию требований, предъявляемых к точностным характеристикам БИНС для ЛА различных классов и назначения, а также исследования по изысканию путей реализации этих требований. Основные результаты исследований изложены в 34 научно-технических отчетах, в ряде диссертационных работ сотрудников вышеуказанных организаций, в монографии М.И.Захарина и Ф.М.Захарина [2], в 30 научных статьях и докладах.

В работах этого периода:

предложен метод алгоритмической компенсации погрешностей блока ДПИ БИНС и оценена его эффективность для электромеханических акселерометров и гироскопов;

рассмотрена принципиальная возможность предстартовой выставки БИНС;

обоснованы принципы и разработаны некоторые алгоритмы комплексирования БИНС с другими информационными системами (по позиционной и скоростной информации);

показана возможность одновременного измерения с помощью БИНС (с распределенными по корпусу объекта ДПИ) параметров изгибных колебаний корпуса и параметров движения объекта как твердого тела;

разработаны рациональные алгоритмы БИНС перспективных самолетов ВВС, авиационных управляемых ракет классов "воздух-поверхность" и "воздух-воздух", некоторых типов баллистических ракет, космических ЛА типа "Союз" и "Лунник".

В 1965 -1968 гг. в рамках темы "Союз" по договору с ЦКБЭМ на базе Киевского ВИАВУ совместно с ИК АН Украины была показана целесообразность применения БИНС для спускаемых космических ЛА. Впервые в стране под руководством М.И.Захарина были проведены макетирование БИНС на поплавковых ДУС типа Л-7 и экспериментальное исследование макета в движении на специально оборудованной автомашине, а также в полете на самолете АН-12 вместе с автомашиной. Разработан ряд пакетов прикладных программ для исследования различных алгоритмов БИНС ЛА.

Начиная с 1973 г. в Киевском ВВАИУ (ныне Киевском институте ВВС и научном центре ВВС), ИК АН Украины, Киевском и Харьковском политехнических институтах, КБ электроприборостроения (ныне НПО "Хартрон") проводились исследования рациональных принципов построения и разработка спецматобеспечения БИНС конкретных классов подвижных объектов различного назначения (авиационных, ракетно-космических, морских и наземных) в рамках тем, заданных директивными органами, и договоров с НИИ и КБ различных министерств и ведомств. Основные результаты исследований этого периода изложены в отчетах о более чем 100 НИР и ОКР, 150 научных статьях и докладах, монографиях [3-5], а также в ряде диссертаций.

За прошедшие годы:

разработан новый эффективный аппарат решения задач ориентации с использованием векторных параметров ориентации, с использованием аппарата алгебры Ли выведены обобщенные векторные кинематические уравнения и дано решение проблемы синтеза высокоточных вычислительных алгоритмов ориентации для БИНС;

указаны пути построения вычислительных алгоритмов БИНС с использованием нетрадиционных гиперкомплексных параметров, характеризующих ориентацию и винтовое движение твердого тела;

разработаны методы и алгоритмы выставки БИНС на неподвижном и произвольно движущемся деформируемом основании;

разработана методика и алгоритмы структурно-параметрической идентификации моделей ошибок БИНС по результатам стендовых испытаний;

разработаны алгоритмы калибровки различных типов БИНС по результатам стендовых испытаний и в режиме нормального функционирования;

предложены методология и алгоритмы аналитической (алгоритмической) компенсации ошибок различных вариантов БИНС;

указаны способы идентификации отказов и фильтрации сбоев датчиков БИНС;

исследованы особенности построения интегрированных навигационных комплексов на базе БИНС;

даны предварительные рекомендации по унификации БИНС для различных типов подвижных объектов;

разработано программно-алгоритмическое обеспечение БИНС на лазерных, динамически настраиваемых, твердотельных и электростатических гироскопах для различных типов конкретных подвижных объектов;

создано значительное количество пакетов проблемно-ориентированных прикладных программ для автоматизации синтеза алгоритмов, проектирования и имитационного моделирования БИНС;

создан ряд макетных образцов конкретных типов БИНС и проведены их испытания.

Большой вклад при проведении указанных исследований внесли, в частности, сотрудники Киевского ВВАИУ (КИ ВВС, НЦ ВВС) — М.И.Андреев, А.А.Анпилогов, Ф.М.Захарин, Ю.А.Пономарев, А.А.Петлин, А.И.Лысенко, ИК НАН — В.П.Давыдов, А.П.Панов, Д.В.Лебедев, А.И.Ткаченко, П.П.Бессараб, КПИ — А.А.Леонец, В.А.Романовский, Т.К.Савина, В.Ф.Сокол, С.И.Садыченко, Института математики НАН — С.М.Опищенко и др., НПО "Хартрон" — Я.Е.Айзенберг, Ю.М.Златкин, ХПИ — Б.Г.Голоскоков, Ю.А.Плакий, Ю.А.Фролов.

К числу перспективных разработок в области БИНС, осуществляемых в настоящее время в Украине, можно отнести:

создание высокоточной бесплатформенной системы ориентации и стабилизации КА серии "Спектр";

решение проблемы унификации БИНС для всех типов подвижных объектов;

дальнейшее развитие методов синтеза высокоточных и экономичных вычислительных алгоритмов БИНС с использованием нетрадиционных гиперкомплексных параметров;

разработка методологии синтеза программно-алгоритмического обеспечения высокоточных интегрированных бортовых комплексов навигации, наведения и управления движением различных объектов на базе БИНС;

разработка методики и программно-алгоритмического обеспечения для автоматизации проектирования БИНС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захарин М.И. Некоторые вопросы кинематики инерциальных систем навигации. — Киев: КВИАВУ, 1962. — 100 с.
2. Захарин М.И., Захарин Ф.М. Кинематика инерциальных систем навигации. — М.: Машиностроение, 1968. — 236 с.
3. Онищенко С.М. Применение гиперкомплексных чисел в теории инерциальной навигации. Автономные системы. — Киев: Наук. думка, 1983. — 208 с.
4. Лебедев Д.В., Ткаченко А.И. Системы инерциального управления. Алгоритмические аспекты. — Киев: Наук. думка, 1991. — 203 с.
5. Панов А.П. Математические основы теории инерциальной ориентации. — Киев: Наук. думка, 1995. — 280 с.

Abstract. State and future of strapdown inertial navigation systems development in Ukraine. The present paper outlines the main research results on SINS problems, carried out in Ukraine, beginning from 1957, as well as further SINS development in Ukraine.

Материал поступил 2.12.96