



МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)

Отдел по связям с
общественностью МАИ
+7 499 158-45-51,
ads@mai.ru

Описание работы на конкурс «Авиастроитель года»

в номинации «За создание новой технологии»

Разработка технологии создания интегрированных навигационных систем для беспилотных летательных аппаратов

Одной из актуальных задач современной беспилотной авиационной техники является создание отказоустойчивых бортовых измерительно-управляющих комплексов, отвечающих перспективным требованиям организации воздушного пространства и обеспечивающих заданный уровень точности и надежности самолетовождения. Предлагаемая на конкурс работа вносит вклад в решение этой задачи за счет создания линейки отказоустойчивых интегрированных навигационных систем и отражает результаты нескольких проектов, выполненных в рамках Федеральных целевых программ, грантов РФФИ и договоров с предприятиями, выполненных коллективом специалистов кафедры 305 МАИ.

Заявляемая технология включает этап проектирования отказоустойчивых интегрированных навигационных систем, этап их лабораторных и полунатурных испытаний, этап разработки конструкторской документации. На этапе проектирования интегрированных навигационных систем на основе разработанных подходов формируется программно-алгоритмическая среда систем, определяются их рациональный состав и структура, включая связи с возможными внешними корректирующими системами. На этапе испытаний сначала методами имитационного моделирования, а затем полунатурных исследований проверяются и уточняются характеристики элементов систем, их структура и потенциальные характеристики по точности и отказоустойчивости. При полунатурных исследованиях используются поворотные столы, центрифуга и автомобильный подвижный стенд для отработки проектных решений. Итогом работ является комплект конструкторской документации на систему и ее экспериментальный образец.

Цель работы: Разработка технологии создания отказоустойчивых интегрированных навигационных систем для беспилотных летательных аппаратов,

включающей этапы разработки структуры системы, адаптации унифицированного программно-алгоритмического обеспечения, испытаний экспериментального образца и разработки конструкторской документации.

Основные задачи работы:

1. Создание методики обоснования структуры интегрированной навигационной системы, учитывающей особенности конкретного летательного аппарата.

2. Создание методики адаптации унифицированного алгоритмического и программного обеспечения под особенности эксплуатации в составе бортового оборудования летательного аппарата.

3. Разработка технологии проведения имитационного моделирования и полунатурных испытаний интегрированных навигационных систем на лабораторных и мобильных стендах.

4. Разработка методологии создания конструкторской документации для создаваемых образцов отказоустойчивых интегрированных навигационных систем.

Общая характеристика работы. Развитие авиационного транспорта, постоянный рост интенсивности воздушного движения определяют непрерывное ужесточение требований к точности и надежности самолетовождения, а также ставят задачу допуска в общее воздушное пространство беспилотной техники. Создание навигационных систем нового поколения невозможно без глубокой интеграции всех бортовых систем с целью повышения как точностных характеристик комплекса, так и решения задачи обнаружения отказов, входящих в него систем и датчиков, и реконфигурации его структуры с учетом отказавших элементов. На рисунках 1 и 2 представлены два созданных экспериментальных образца систем на волоконно-оптических гироскопах (ВОГ) и микромеханических датчиках.



Рис. 1. Внешний вид экспериментального образца интегрированной навигационной системы на ВОГ.



Рис. 2. Внешний вид экспериментального образца интегрированной навигационной системы на микромеханических датчиках.

Решение задачи отказоустойчивости и повышения точности может достигаться различными способами. В рамках предлагаемой технологии основным методом обеспечения отказоустойчивости является аппаратная, структурная и информационная избыточности, что позволяет формировать измерения и строить алгоритмы обнаружения отказов. Основным методом повышения точностных характеристик инерциальных навигационных систем в заявляемой технологии является калибровка первичных измерителей - гироскопов и акселерометров. Для проведения полунатурных испытаний и калибровки необходимо дорогостоящее оборудование, которое позволяет проводить

тестирование различных типов чувствительных элементов, от микромеханических гироскопов и акселерометров низкой точности, до высокоточных гироскопов и акселерометров.

Созданная на базе кафедры 305 и Центра спутниковых информационных технологий МАИ «Лаборатория испытаний инерциальных навигационных систем» открывает возможности для определения с высокой точностью ошибок систем, связанных как с погрешностями первичных измерителей, так и с особенностями функциональных алгоритмов, тестирования и калибровки разрабатываемых комплексов ориентации и навигации на различных этапах жизненного цикла изделия. Оборудование лаборатории позволяет идентифицировать как инструментальные факторы, приводящие к ошибкам в инерциальных системах, а именно: постоянный дрейф гироскопов и постоянные ошибки акселерометров, ошибки масштабных коэффициентов, ошибки, зависящие от перегрузок, и ошибки от перекоса осей блоков чувствительных элементов, зависимость этих факторов от температуры и другие причины, так и вычислительные погрешности алгоритмов инерциальных систем, в частности алгоритмов ориентации. Проведение специальных испытаний для исследования общих свойств инерциальных систем, их тестирования, анализа погрешностей первичных датчиков и определения параметров их моделей составляют основные задачи созданной лаборатории. Общий вид лаборатории показан на рис. 3, 4.

Аппаратную основу лаборатории составляют три стенда - двухосный поворотный стенд, малый одноосный поворотный стенд, центрифуга - и имитатор спутниковых навигационных сигналов.

Двухосный поворотный стенд ActiDyn ST2356 представляет собой прецизионное устройство, позволяющее в лабораторных условиях моделировать угловые перемещения подвижных объектов. Исследования на этом стенде решают задачи калибровки гироскопов и акселерометров высокого уровня точности, и исследования инерциальных навигационных систем, построенных на датчиках подобного типа. Использование двухосевого стенда позволяет также исследовать особенности работы численных алгоритмов инерциальных навигационных систем (ИНС). С целью исследования влияния температурного фактора установленный двухосный поворотный стенд оборудован термокамерой, обеспечивающей задание температур в диапазоне $-55...+90^{\circ}\text{C}$.



Рис. 3. Внешний вид лаборатории.

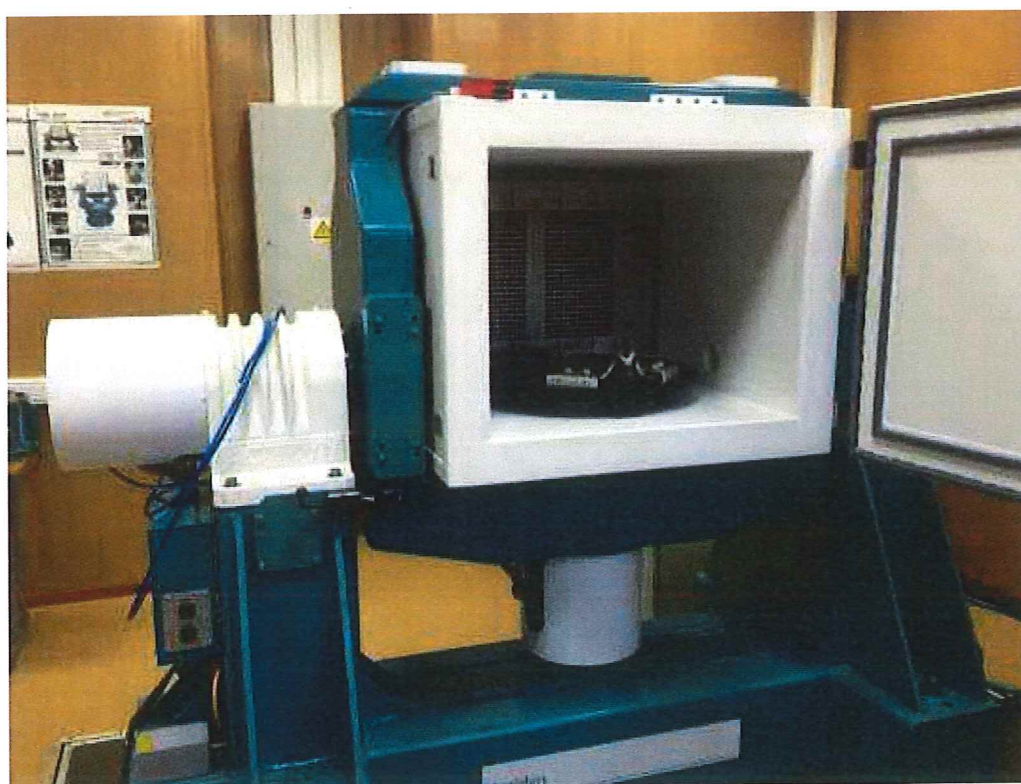


Рис. 4. Внешний вид двухосного поворотного стола с открытой термокамерой и установленной оснасткой.

Одноосный поворотный стенд ActiDyn RT1111 - инструмент для тестирования и тонкой настройки микромеханических гироскопов и акселерометров. С помощью подобного оборудования французской фирмы ActiDyn можно исследовать функционирование микромеханических гироскопов и акселерометров в широком диапазоне угловых скоростей.

Центрифуга ActiDyn C-18 используется для калибровки высокоточных акселерометров и проверки работоспособности гироскопов в условиях значительных перегрузок.

Существенным элементом лаборатории является имитатор спутниковых навигационных сигналов, позволяющий создавать достоверное радионавигационное поле и, с его помощью, тестировать спутниковую аппаратуру потребителя, являющуюся основным средством коррекции современных интегрированных навигационных систем.

Одной из основных задач при создании лаборатории является определение ее структуры, которая позволила бы проводить как серьезные научные исследования, так и глубокое изучение свойств ИНС и их датчиков в основном учебном процессе национального исследовательского университета МАИ. С этой целью было предложено объединить всю аппаратную часть лаборатории, создав из отдельных ее стендов единый научно-учебный комплекс.

Особенностью работы лаборатории в национальном исследовательском университете является необходимость демонстрации экспериментов и их результатов большому числу обучающихся, которые к тому же часто размещаются весьма удаленно от лаборатории. С целью снятия этой проблемы было принято решение организации специальной локальной вычислительной сети с возможностью "on-line" демонстрации экспериментальной части работы со стендом и удаленного доступа к результатам эксперимента. На рисунке 5 приведена структурная схема лаборатории испытаний.

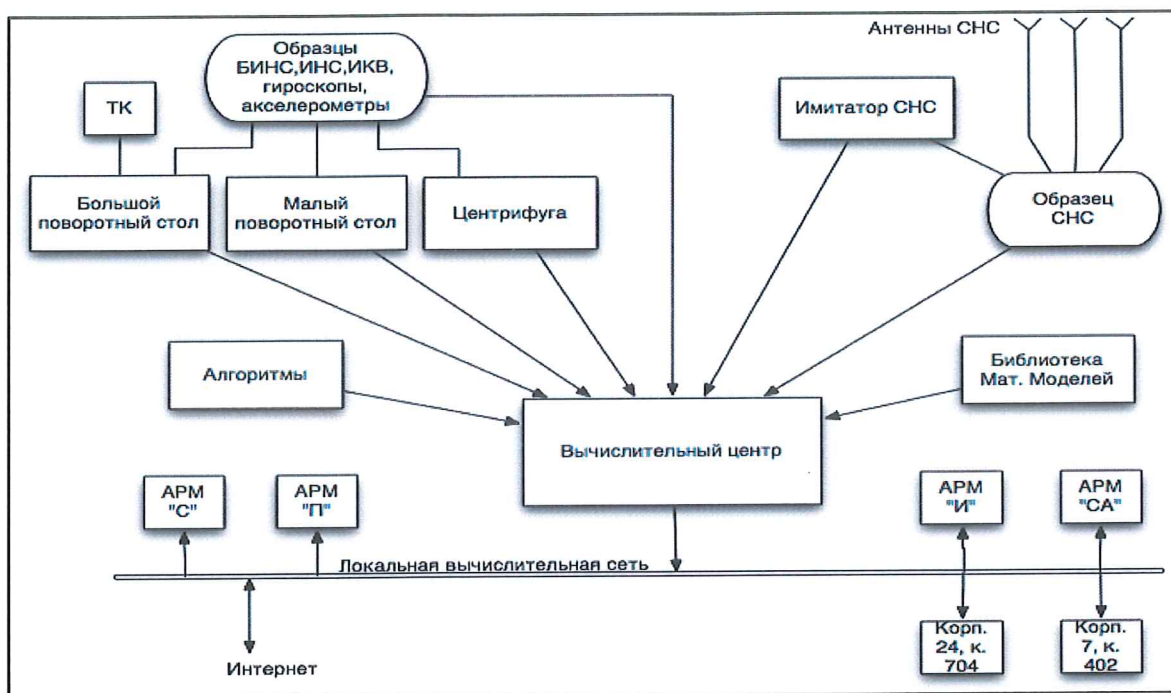


Рис. 5. Структурная схема лаборатории испытаний.

Созданная лаборатория позволяет тестировать и калибровать как отдельные гироскопы и акселерометры различного типа, так и блоки чувствительных элементов, а также инерциальные системы навигации и наведения, интегрированные системы ориентации и навигации. В зависимости от типа исследуемого датчика или системы выбирается соответствующее оборудование из состава лаборатории. Для испытания ИНС на основе МЭМС-датчиков достаточно будет использовать имеющийся одноосный поворотный стол, а для ИНС средней и высокой точности (например, на базе волоконно-оптических или лазерных гироскопов) необходим прецизионный двухосный поворотный стол.

Разнообразие решаемых лабораторией задач приводит к необходимости использования серьезных вычислительных систем и сетевых технологий. Поэтому одним из важнейших компонентов лаборатории является ее программно-математическое обеспечение (ПМО), которое должно быть реализовано в вычислительном комплексе лаборатории.

Основой такого комплекса является библиотека математических моделей систем, которые могут входить в состав интегрированной системы. Библиотека математических моделей систем и датчиков представляет собой набор программно реализованных моделей, которые можно использовать в алгоритмах обработки информации. Математические модели отдельных приборов и систем отражают характерные особенности изделий, построенных на различных физических принципах. Для

обеспечения работы такой библиотеки необходимо имитировать траекторное движение объекта, которое в простейшем случае задается номинальной траекторией движения, а в общем случае используется полная динамическая модель рассматриваемого объекта. Обработка сигналов систем происходит в программных модулях «Преобразование сигналов» и «Оптимальная обработка информации», где реализуется процедура оптимальной фильтрации, соответствующая текущей конфигурации комплекса. Программный комплекс обеспечивает оценку точности систем, управление оборудованием лаборатории и обработку сигналов реальных систем.

Для эффективной эксплуатации лаборатории испытаний инерциальных навигационных систем важно построить единую локальную вычислительную сеть. Такой подход позволяет существенно упростить процесс изучения и исследования систем, ускорить темп работ, связанных с идентификацией ошибок навигационных модулей. В структуре ЛВС предусматриваются автоматизированные рабочие места (АРМ) исследователей, преподавателей и студентов. Каждый тип АРМ имеет свои функциональные возможности работы в удаленном доступе. Локальная сеть позволяет создать единый вычислительный комплекс, включающий сервер, собирающий необходимые данные, производящий расчет и пересылку требуемую информацию по каналам ЛВС на АРМ соответствующего оператора.

Созданная лаборатория и разработанные методики калибровки являются основным компонентом созданной технологии разработки интегрированных навигационных систем.

Заключение. Разработанная технология создания интегрированных навигационных систем для беспилотных летательных аппаратов позволила создать линейку малогабаритных навигационных систем и комплексов (рис. 6), а также экспериментальный образец системы на волоконно-оптических гироскопах (ВОГ). Созданные образцы прошли испытания в лабораторных условиях, на мобильных стендах и летные испытания на борту пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов.

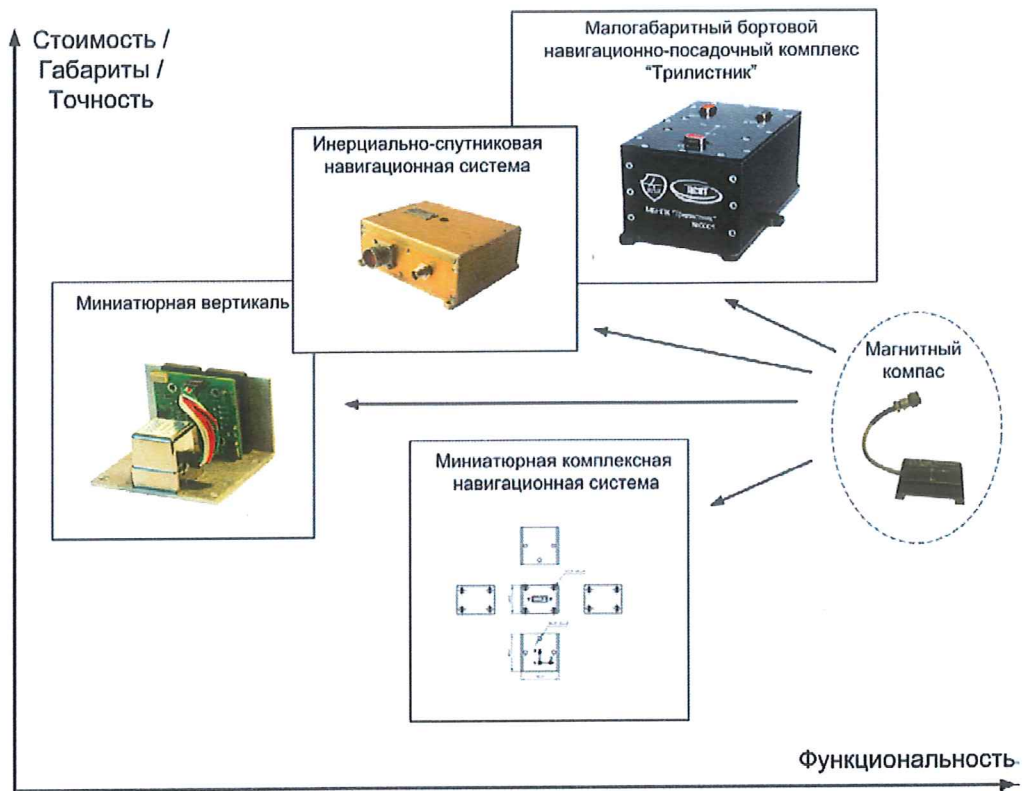


Рис.6. Линейка микромеханических систем разной функциональности.