

Дилшод Эльмурадович Эшмурадов,
доцент Ташкентского государственного технического университета
Маъмура Орифовна Ёдгорова,
Ассистент Бухарского инженерно-технологического института
Бехзод Акрамжонович Жумамуратов,
докторант Ташкентского государственного технического университета

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Предлагается методика совершенствования интегрированных инерциально-спутниковых радионавигационных систем. С помощью предложенной методики удалось сформировать унифицированные ряды ИСНС для авиационных объектов на ближайшую и среднесрочную перспективу.

Ключевые слова: инерциальная радионавигационная система, инерциально-спутниковая навигационная система, унификация интегрированных радионавигационных систем, генерация вариантов интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем, гироскоп.

METHODS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF RADIONAVIGATION SYSTEMS

Annotation. A methodology for improving integrated inertial-satellite radio navigation systems is proposed. With the help of the proposed methodology, it was possible to form unified ISNS series for aviation facilities in the near and medium term.

Keywords: inertial radio navigation system, inertial satellite navigation system, unification of integrated radio navigation systems, generation of variants of integrated inertial satellite navigation systems, gyroscope.

Введение (Introduction)

С развитием и совершенствованием летательных аппаратов, усложнением и расширением выполняемых ими полетных заданий, развивались и совершенствовались пилотажно-навигационные приборы и системы, которые с внедрением в состав бортового оборудования высокопроизводительной вычислительной техники стало объединять в пилотажно-навигационные комплексы (ПНК). ПНК является логическим следствием эволюции систем навигации и управление и представляет собой качественно новую степень в автоматизации самолетовождения. В состав ПНК современного летательного аппарата любого класса входят несколько навигационных систем, в частности инерциальные (ИСНС) и спутниковые (СНС) системы навигации. Благодаря различной физической природе и разным принципам формирования навигационного алгоритмического обеспечения, ИСНС и СНС хорошо дополняют друг друга, что естественно определило их интеграцию в составе современных ПНК. Совместное использование этих систем позволяет, с одной стороны, ограничить рост погрешностей менее точной, но более информативной инерциальной системы, а с другой стороны

повысить темп выдачи информации бортовым потребителям, поднять уровень помехозащищенности и снизить шумовую составляющую ошибок спутниковой системы.

Цель исследования: предложена и разработана методика совершенствования интегрированных инерциально-спутниковых радионавигационных систем.

Материалы и методы (Materials and methods)

Для решения задач исследования в данной работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические методы включали теории проектирования цифровых и радиотехнических систем, методы статистической радиотехники. Также использовались основные положения математической статистики, статистического анализа и линейной алгебры. Для проверки теоретических положений применено математическое моделирование и экспериментальные исследования при помощи имитаторов сигналов, а также натурные испытания в условиях полета.

Результаты (Results)

Одной из центральных идей развития навигационного оборудования летательных аппаратов (ЛА) является функциональное, информационное и аппаратурное объединение навигационных измерителей в интегрированный навигационный комплекс. Большинство ЛА имеют в составе бортового оборудования ряд навигационных систем, среди которых наиболее распространенными являются радиотехнические системы: аппаратура радиотехнических систем ближней (РСБН) и дальней (РСДН) навигации, радиолокационные станции, курсо-доплеровские системы, спутниковые системы навигации (СНС), а также автономные нерадиотехнические навигационные системы. Основными автономными средствами навигации ЛА являются инерциальные навигационные системы (ИНС), которые используют на ЛА различного назначения. Курсо-воздушные системы применяют на самолетах и вертолетах, оборудованных курсовыми системами и средствами определения воздушной скорости.

На протяжении десятилетий основным направлением развития навигационной науки являлось совершенствование технических средств навигации, повышение их точности, надежности и функциональных возможностей. В последние годы, в этом направлении достигнут значительный прогресс, связанный в первую очередь с внедрением спутниковых навигационных систем (СНС), а также с увеличением мощностей и качества наземных средств навигации [1].

Все ЛА имеют также средства измерения барометрической и геометрической высоты полета. На некоторых самолетах, кроме этого, есть банк данных о высоте рельефа местности. В состав многих навигационных комплексов движущихся объектов входят датчики времени (бортовые эталоны точного времени). Объединение (интеграция) такого оборудования в единый функционально, структурно и конструктивно взаимозависимый навигационный комплекс позволяет полнее использовать имеющуюся на борту ЛА чрезмерную информацию, благодаря этому появляется возможность расширить круг решаемых задач и улучшить качество их выполнения. Целью комплексирования навигационного оборудования является объединение различных измерителей в единый навигационный комплекс (НК), который имеет более высокие характеристики точности, помехоустойчивости и надежности навигационных определений по сравнению с отдельными измерителями. Повышение уровня и степени интеграции оборудования в

составе навигационного комплекса проявляется в реализации следующих принципов комплексирования:

- объединение функций различных радиотехнических систем, что приводит к появлению сопряженных систем и многофункциональных интегрированных комплексов;
- объединение технических средств, которые измеряют те же или функционально связанные навигационные параметры. Сообщение радиотехнических систем, в которых часто используются сложные радиосигналы, позволяет создавать многофункциональные комплексы, которые имеют привлекательные конструктивные и эксплуатационные характеристики.

При реализации первого принципа комплексирования многофункциональные радиотехнические системы создаются на базе существующих одно-функциональных систем связи и навигации. Примером такого комплексирования является Объединенная спутниковая навигационная система GPS / ГЛОНАСС, а также интеграция СНС с радиотехническими системами ближней и дальней навигации. При втором принципе комплексирования осуществляется совместная (комплексная) обработка информации нескольких устройств или систем навигационного комплекса, которые определяют те же самые или функционально связанные навигационные параметры. Например, с помощью ИНС, РСБН, РСДН, СНС и других измерителей есть возможность с определенной чрезмерностью находить координаты местоположения и скорость потребителя. Сверхвысокая точность СНС по определению навигационных параметров делает ее наиболее привлекательной для комплексирования. Прогресс в спутниковой навигации резко ускорился в связи с созданием не только американской (GPS) и российской (ГЛОНАСС) спутниковых систем, но и с подключением стран Европейского Союза к развитию общей сети спутниковых систем (проекты EGNOS, Galileo). Это привело к появлению целой индустрии производства систем спутниковой навигации для самых разнообразных применений. В то же время использование этих систем для задач навигации и управления полетом ЛА явно недостаточно. Сложившаяся в данный момент практика создания и применения комплексных навигационных систем основана на использовании интегрированных инерциально-спутниковых систем навигации (ИССН). При этом ИССН могут быть в свою очередь интегрированы с барометрическими или радиотехническими высотомерами и другими бортовыми измерителями. Это связано со следующими причинами:

- для задач управления полетом необходимо иметь аналоговое измерение линейных и угловых параметров полета, или, по крайней мере, необходимо, чтобы частота квантования этих параметров измерялась десятками герц. В то же время спутниковая радионавигационная система обеспечивает частоту квантования сигналов положения и скорости ЛА с частотой 1 гц (в лучшем случае 0,5 гц), что явно недостаточно для систем управления полетом ЛА. Инерциальные системы навигации обеспечивают высокую скорость выдачи информации (до 100 Гц);
- инерциальные системы навигации имеют высокую информативность, то есть измеряют как линейные, так и угловые параметры, а спутниковые системы измеряют только линейные параметры (вектор положения ЛА в некоторой геоцентрической системе координат и вектор его скорости). В принципе СНС можно использовать и для измерения угловых координат, но для этого необходимо применять несколько антенн, установленных на некотором расстоянии друг от друга, и несколько приемников, что

резко усложняет и удорожает систему. Применение ИНС, корректируемой от СНС, позволяет измерять угловое положение ЛА с достаточно малой погрешностью;

- погрешности, возникающие в ИНС и СНС, имеют разный характер. Для ИНС характерен неограниченный рост погрешностей во времени, который может быть компенсирован только с помощью внешней коррекции. В то же время, случайные погрешности первичных измерений ИНС достаточно хорошо сглаживаются с помощью операций интегрирования. С другой стороны, в СНС получение основной информации о векторах положения и скорости ЛА не основано на интегрировании. Поэтому, хотя ошибки выходных сигналов СНС также имеют место, но в отличие от ИНС они ограничены, хотя дисперсия случайных погрешностей выходных сигналов СНС достаточно высокая;

- сигналы СНС имеют высокую частоту и малую мощность. Слабая мощность сигнала, многократное отражение принятого сигнала от окружающих поверхностей, природные ионосферные, атмосферные и тропосферные помехи значительно уменьшают отношение "сигнал/шум" и существенно снижают эффективность приемника СНС в таких условиях. Радиотехнические контуры слежения за сигналами навигационных спутников могут легко "потерять" спутник при наличии активных помех. С другой стороны, ИНС имеют полную автономность, высокую помехоустойчивость и надежность навигационного обеспечения. Вышеуказанные причины приводят к необходимости применения интегрированных инерциально-спутниковых систем для навигации и управление ЛА практически всех типов. Поэтому комитет Международной организации гражданской авиации (ИКАО) по будущим навигационным системам (FANS - Future Air Navigation System) принял решение об обязательном использовании систем спутниковой навигации в сочетании с ИНС.

Обсуждение (Discussion)

СНС относятся к классу радионавигационных систем - спутниковых радионавигационных систем и реализующих позиционный способ определения местоположения по информационным параметрам радиосигнала, которые соответствуют навигационным параметрам про дальность до передатчиков - искусственных спутников Земли с известными координатами. Местоположение объекта определяется координатами пересечения трех поверхностей положения, что является геометрическим местом точек с одинаковым значением навигационного параметра.

Общепринятое сокращенное название таких систем GPS (Global Positioning System). Однако укоренившаяся в мировой практике аббревиатура GPS чаще всего относится к американской системе NAVSTAR, а российскую систему принято называть GLONASS GPS или просто ГЛОНАСС. В составе спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS функционируют три основных сегмента:

- космический сегмент;
- сегмент управления;
- сегмент потребителей.

Основой концепции спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS является независимость и беспристрастность решения навигационных задач сегментом потребителей. Независимость решения навигационных задач предполагает вычисление искомых навигационных параметров только в аппаратуре потребителя.

Анализ показывает, что уровень потенциальной помехозащищенности интегрированных ИСНС существенно повышается с увеличением глубины интеграции, что отражено на рис. 1, где даны графики, характеризующие отношение «помеха/сигнал» для различных мощностей передатчика помех как функции дальности к нему, а также пороговые отношения «помеха / сигнал», при превышении которых приемник СНС есть нетрудоспособным. Эффективными направлениями повышения помехоустойчивости являются также увеличение мощности спутниковых радионавигационных сигналов и внедрение многоэлементных адаптивных приемных антенн, которые обеспечивают идентификацию источников помех и деформацию диаграмм направленности антенн (нуль – направленные антенны) [2].

Помехоустойчивость зависит от сочетания большого числа факторов: формы полезного сигнала, вида (формы) помехи, ее интенсивности, структуры приемника, применяемых способов борьбы с помехами и т.д. [3].

Все десять типов блоков инерциальных датчиков первичной информации предлагается интегрировать с многоканальным приемником СНС с помощью наиболее перспективного варианта схемы интеграции (глубоко интегрированной схемы). Таким образом, сгенерировано десять вариантов построения интегрированной бесплатформенной инерциально-спутниковой навигационной системы. На этапе характеристики осуществлялась экспертная оценка основных характеристик, в том числе стоимости, исходных вариантов интегрированных ИСНС.

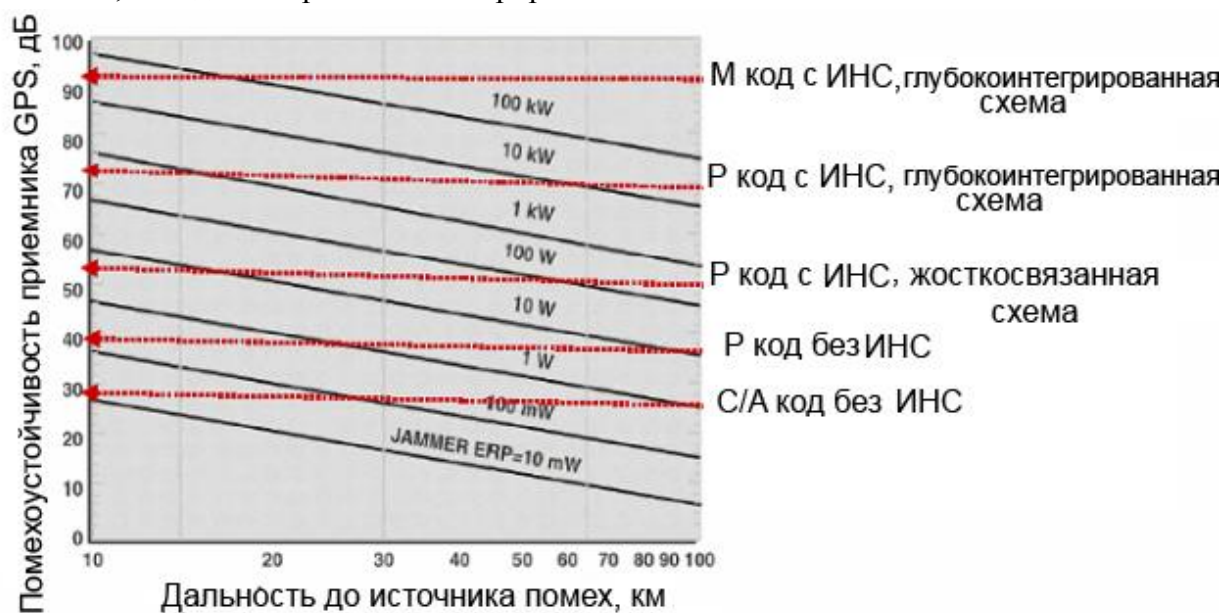


Рисунок 1 - Потенциальная помехоустойчивость ИСНС до одиночного источника широкополосных радиопомех.

На этапе унификации осуществлялся отбор минимального унифицированного ряда ИСНС. Для исключения избыточности исходных вариантов и обоснования минимального унифицированного ряда систем на данном этапе использовался критерий стоимости образцов ИСНС.

Выводы (Conclusion)

Инерциальные навигационные системы, как наиболее информативные, позволяют получать всю совокупность необходимых параметров для управления авиационным объектом, включая угловую ориентацию. В состав интегрированной бесплатформенной инерциально-спутниковой системы предложено включить современный многоканальный

приемник спутниковой системы навигации ГЛОНАСС / GPS / ГАЛИЛЕО, имеющий возможность работать в режиме дифференциальных навигационных измерений. Было сгенерировано десять вариантов построения интегрированной бесплатформенной инерциально-спутниковой навигационной системы. Таким образом, с помощью предложенной методики удалось сформировать унифицированные ряды ИСНС для авиационных объектов на ближайшую и среднесрочную перспективу.

Список источников / References

1. Эшмурадов Д. Э. Зональная навигация в Республике Узбекистан //Монография. Т.: ТГТУ. – 2016.
2. Савин Д.И. Сходимость алгоритма вторичной обработки при относительной навигации с использованием мультисистемной аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем / Д.И.Савин, А.В.Коровин // Теория и техника радиосвязи. 2019. № 1. С. 49-54.
3. Attokurov U., Omorova S., Eshmuradov D. АНАЛИЗ НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫХ ПОМЕХ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТУ РЕТРАНСЛЯЦИОННОЙ РАДИОСТАНЦИИ //Science and innovation. – 2022. – Т. 1. – №. А6. – С. 484-488.
4. Кислухин Г.А. Структура системы идентификации погрешности бесплатформенной инерциальной навигационной системы с применением рекуррентных нейронных сетей / Г.А. Кислухин, Д.А. Рябов, А.И. Бурганский // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства. сборник тезисов : в 4 т. Москва, 2021. С. 529-530.
5. Зонов Н.И. Оценка точности спутниковой навигации в широком диапазоне высот / Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев // Системный анализ, управление и навигация. 2018. С. 132-133.
6. Новичков А.Р. Комплексование бесплатформенной инерциальной навигационной системы с системой локального позиционирования на базе сверхширокополосных радиомодулей / А.Р. Новичков, А.Ю. Егорушкин, Н.Н.Фашевский // XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства. сборник тезисов : в 2 т.. Москва, 2020. С. 553-554