

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛИ НА ЭТАПЕ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Рассмотрены вопросы возможности определения точных характеристик углов крена и тангажа, измеряемых системой курсовертикали, на этапе летных испытаний без использования средств внешнетраекторных измерений по информации о координатах местоположения самолета от спутниковой системы навигации.

Вступление и анализ проблемы. Непрерывное усовершенствование пилотажно-навигационного оборудования летательных аппаратов (ЛА) привело к существенному улучшению его точностных характеристик, что поставило перед испытателями ряд задач, связанных с необходимостью совершенствования методов его оценки на этапе летных испытаний. Необходимость совершенствования существующих методов испытаний систем и устройств, составляющих основу пилотажно-навигационных комплексов (ПНК) обусловлена тем, что точностные характеристики испытываемого оборудования, стали соизмеримы, а иногда даже выше точностных характеристик существующих средств внешнетраекторных измерений, с помощью которых определяется соответствие испытываемого оборудования заданным требованиям.

Как было показано в работе [1] при оценке пилотажно-навигационного оборудования самолетов последнего поколения перед испытателями едва ли не самым проблематичным стал вопрос высокоточного определения положения ЛА относительно вертикали места, т. е. определение углов крена и тангажа. Так для оценки точности современных инерциальных навигационных систем (ИНС), позволяющих определять угловые положения ЛА относительно вертикали с погрешностью не более 3 – 5 угловых минут, стали не приемлемы даже такие высокоточные способы определения эталонных значений параметров пространственного положения ЛА, как методы фотограмметрии. Эти методы основаны на сравнении значений измеряемых параметров и регистрируемых на борту ЛА с параметрами, полученными в результате фотографирования объектов с известными координатами. В данном случае, фотоаппарат, установленный на борту испытываемого ЛА, является средством внешнетраекторных измерений. Фотографируемые объекты, координаты которых известны с высокой точностью, могут быть расположены на земной или водной поверхности, на взлетно-посадочной полосе. В качестве топогеодезического обеспечения может быть использовано звездное небо.

Как показывает анализ точностных характеристик различных методов фотограмметрии, ни один из них не стал соответствовать требованиям метрологического обеспечения испытаний современных пилотажно-навигационных систем и устройств. Кроме того, следует учитывать высокую трудоемкость и длительные сроки обработки результатов летных испытаний с использованием фотограмметрических методов оценки, высокую стоимость, связанную с установкой дополнительной бортовой аппаратуры, регистрирующей текущее значение измеряемых параметров (в данном случае топографического фотоаппарата), топогеодезическим обеспечением этих методов (создание и обслуживание топогеодезических полигонов), и ограничения по их использованию (например, метеоусловия).

Выходом из данной ситуации является разработка косвенных методов оценки отдельных пилотажно-навигационных параметров, например углов тангажа и крена, через оценку других параметров, измеряемых с высокой точностью.

В настоящее время на АНТК им. О. К. Антонова предложена методика оценки погрешности измерения угла тангажа, выдаваемого ИНС, используя математическую зависимость между углом наклона траектории, углом атаки и углом тангажа [2]. В соответствии с этой методикой погрешность измерения угла тангажа с помощью ИНС определяется как

$$\Delta \vartheta = \vartheta_{\text{ИНС}} - \vartheta,$$

где $\vartheta_{\text{ИНС}}$ – угол тангажа, измеренный ИНС, $\Delta \vartheta$ – погрешность измерения угла тангажа, ϑ – угол тангажа, вычисляемый из соотношения:

$$\vartheta = \theta + \alpha, \quad (1)$$

где α – угол атаки, получаемый от информационного комплекса высотно-скоростных параметров (ИКВСП), θ – угол наклона траектории, определяемый соотношением:

$$\theta = \arcsin \frac{V_y}{V_{xz}},$$

В последнем выражении V_y есть вертикальная составляющая скорости, а V_{xz} – горизонтальная составляющая путевой скорости, определяемая из треугольника скоростей, т.е.

$$V_{xz} = \sqrt{V_x^2 + V_z^2}.$$

Параметры V_x , V_y , V_z регистрируются комплексом бортовых траекторных измерений (КБТИ) с точностью до 0,6 м/с.

Простота этого метода оценки одного из самых труднодоступных с точки зрения определения погрешностей параметра, характеризующего положение ЛА относительно вертикали места, очевидна и привлекательна. Но, к сожалению, следует учитывать тот факт, что этот метод может соответствовать требованиям метрологического обеспечения испытаний только такого оборудования, которое по техническим требованиям не должно обеспечивать высокоточного измерения пилотажно-навигационных параметров полета. Так при критическом рассмотрении выражения (1) очевидно, что погрешности в измерении угла атаки посредством датчика угла атаки (ДУА) могут во много раз превышать погрешности испытуемой современной курсовертикали (КВ) и, наконец, критическое отношение к использованию этого метода вызывает тот факт, что в данном случае оценка угла тангажа осуществляется через измерения, проводимые оборудованием, которое само является объектом испытаний и потому не может быть эталоном, а, следовательно, само должно быть оценено на этом этапе создания авиационной техники.

В той же методике угол крена самолета предполагается определять через математическое соотношение этого угла, путевой скорости полета и скорости изменения курса. При этом ошибки измерения, как это отмечается в данной методике, приводят к погрешности в определении этого параметра до 30 угловых минут, что при испытаниях оборудования современных ЛА не только соизмеримо с ошибками оцениваемой системы, но и существенно превосходят их.

Таким образом, предложенные косвенные методы оценки некоторых пилотажно-навигационных параметров [2] позволяют исключить необходимость в испытательных полигонах с дорогостоящей инфраструктурой. Эти методы заслуживают внимания как предложения, позволяющие исключить трудоемкие и дорогостоящие методы оценки погрешностей в определении угловых положений ЛА относительно вертикали, предполагающие использования испытательных трасс, оборудованных высокоточными средствами внешне траекторных измерений. Такие методы оценки точностных характеристик измерителей вертикали с точки зрения соответствия метрологическим требованиям могут быть применимы лишь при оценке достаточно грубых систем. Однако для оценки высокоточного бортового пилотажно-навигационного оборудования должно использоваться сверхвысокоточные средства, по показаниям которых оцениваются характеристики испытуемых систем.

Постановка задачи.

В практике летных испытаний современных ЛА внедряются новые подходы решения задачи внешнетраекторных измерений. Так при испытаниях самолета Ан-148 используется комплекс бортовых траекторных измерений (КБТИ), в состав которого входит спутниковая система навигации (ССН), сертифицированная в качестве эталонного средства при оценке точностных характеристик датчиков навигационной информации.

Такая ССН при использовании дифференциального режима работы позволяет определять координаты местоположения воздушного судна с точностью до единиц метров, что более чем на два порядка превосходит точности традиционных средств навигации, таких как радиосистемы ближней и дальней навигации, радиолокационные, астрономические и другие навигационные системы.

Следует отметить, что оценка ошибок измерения углов крена и тангажа ЛА, представляющих проблему для испытателей авиационной техники посредством косвенных измерений, является достаточно заманчивой. Тем более, что использование современных алгоритмов комплексной обработки информации, реализуемых в бортовых вычислительных машинах современных пилотажно-навигационных комплексов, как это показано, например, в работах [3,4] позволяет, оценить координаты самолета с погрешностями, меньшими погрешностей самой точной системы, входящей в его состав, в том числе и ССН.

Решение проблемы. В работе [1] исследован алгоритм оценки пилотажно-навигационных параметров, измеряемых инерциально-спутниковой системой навигации, с использованием оптимального фильтра Калмана (ОФК) В данной работе определены все составляющие ОФК, касающиеся оценки точностных характеристик ИНС, а именно, погрешностей в определении вертикали, составляющих скорости полета и координат местоположения самолета.

В этой же работе предложена методика решения обратной задачи, а именно, по достаточно точной информации об ошибке в определении координат местоположения ЛА оценить точностные характеристики измерителей угловых положений самолета относительно вертикали места без использования средств внешнетраекторных измерений.

Однако, существенным недостатком такого метода решения этой задачи является сложность ее практической реализации, так как решение уравнений ОФК, представляет определенные трудности, связанные с необходимостью точного описания математических моделей ИНС и ССН и требует достаточно серьезной математической подготовки испытателей. В работе [1] эта задача решена при упрощенных описаниях математических моделей этих систем и, кроме того, в предложенной методике задача оценки характеристик вертикали решена применительно к платформенным ИНС.

Так как в состав ПНК современных ИНС входят бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), то авторами данной статьи исследована возможность оценки точностных характеристик вертикали с помощью таких систем. Предложенная методика исключает необходимость использования ОФК, учитывает особенности БИНС и рассчитана на теоретические знания специалистов уровня «бакалавр»

Вывод. Предложенный метод косвенного определения точностных характеристик ИНС по результатам высокоточной оценки с помощью СНС координат местоположения самолета позволяет при минимальных затратах с большой точностью определить ошибки датчиков угловых положений самолета без использования средств внешнетраекторных измерений.

Список литературы

1. *Рогожин В. О., Друк Ю.А., Лукинова Т.И.* Оценка точностных характеристик измерителей вертикали на этапе летных испытаний с помощью спутниковой системы навигации, Электроника и системы управления – 2006. – №2(8) – 8 с.
2. Программа летных испытаний №140.704.003. ПМ-2003. – К: АНТК им. О. К. Антонова, 2003 – 50 с.
3. *Рогожин В. О., Синеглазов В. М., Філяшкін М. К.* Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден: Підручник – К: НАУ, 2005 – 316 с.
4. *Філяшкін М. К., Рогожин В. О., Скрипець А.В., Лукинова Т.І.* Інерціально-супутникові навігаційні системи: Навчальний посібник – К: НАУ, 2009 – 272 с.

Н.К. Філяшкін, В. О. Рогожин

Використання косвених методів вимірювання при оцінці точнісних характеристик вимірювачів вертикалі на етапі льотних випробовувань.

Розглянуто питання можливості визначення точних характеристик кутів крену та тангажа, вимірюваних системою курсовертикалі, на етапі льотних випробовувань без використання засобів зовнішньотраекторних вимірювань за інформацією про координати місцезнаходження літака від супутникової системи навігації.

N.K.Fileyashkin, V. O. Rogozhin

Estimation of precise descriptions of the cursovertical system on the stage of flying tests with the help of the satellite navigation systems

There are examined the possibility question of determination of roll angles and tangage precise descriptions, measured by the system of cursovertical on the stage of flying tests without using facilities of the external trajectory measuring on information about the location coordinates of airplane from the satellite navigation system.