

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ И РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Н.А. Куприянов¹⁾, И.И. Мирошников²⁾, П.Д. Кобби³⁾

1) к.т.н., доцент кафедры ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова», г. Краснодар, Россия, simple_progressor@rambler.ru

2) к.с.н., доцент, начальник кафедры ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова», г. Краснодар, Россия, simple_progressor@rambler.ru

3) слушатель ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова», г. Краснодар, Россия, simple_progressor@rambler.ru

Аннотация: Рассмотрены постановка и решение задачи обеспечения воздушного судна комплексированной радиолокационной и радионавигационной информацией. Математически описаны потоки радиолокационных и радионавигационных данных, совместная обработка которых позволит повысить точность определения пилотажно-навигационных параметров воздушного судна.

Ключевые слова: априорная координатная информация, радиолокационная информация, радионавигационная информация, среда распространения радиоволн.

PROBLEM STATEMENT AND SOLUTION PROVIDING THE AIRCRAFT WITH INTEGRATED RADAR AND RADIO NAVIGATION INFORMATION

Nikolay A. Kupriyanov¹⁾, Ivan I. Miroshnikov²⁾, Peter D. Kobbi³⁾

1) Ph. D., associate professor of the department of Federal State State-owned Military Educational Institution of Higher Education «Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov», city of Krasnodar, Russia, simple_progressor@rambler.ru

2) Ph. D., associate Professor, head of the department of Federal State State-owned Military Educational Institution of Higher Education «Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov», city of Krasnodar, Russia, simple_progressor@rambler.ru

3) the student of Federal State State-owned Military Educational Institution of Higher Education «Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov», city of Krasnodar, Russia, simple_progressor@rambler.ru

Abstract: The formulation and solution of the problem of providing an aircraft with integrated radar and radio navigation information are considered. The flows of radar and radio navigation data are mathematically described, the joint processing of which will improve the accuracy of determining the flight and navigation parameters of the aircraft.

Key words: a priori coordinate information, radar information, radio navigation information, radio wave propagation medium.

Введение. Актуальной задачей является выработка новых подходов к повышению точности измерения пилотажно-навигационных параметров воздушного судна (ВС), необходимых для точного определения его положения и направления движения [1]. Для решения этой задачи предлагаются различные методы, в основном связанные с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), которые решают комплексную задачу координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) воздушных судов. При этом КВНО - это сложный разнесённый в пространстве и времени процесс, включающий в себя совокупность операций, выполняемых в целях получения потребителем всех необходимых ему данных о пространственно-временных состояниях и отношениях объектов и процессов, используемых или учитываемых им при решении задач или для достижения целей, определённых в пространстве и времени. Качество решения задач КВНО и точность определения пилотажно-навигационных параметров зависит от большого количества факторов. Так, в работе [2] отмечается, что качество информации КВНО всех без исключения потребителей испытывает наибольшую зависимость от количества находящихся в зоне радиовидимости потребителя навигационных космических аппаратов (НКА) и параметров среды распространения радиоволн.

С учётом изложенного, ниже предлагается подход к решению задачи повышения точности измерения пилотажно-навигационных параметров ВС, основанный на комплексировании радиолокационной и радионавигационной информации.

Постановка задачи обеспечения воздушного судна комплексированной радиолокационной и радионавигационной информацией

В основу решения поставленной задачи заложена идея совместного использования ВС как радионавигационной информации от ГНСС, так и радиолокационной информации от различных средств радиолокационного мониторинга околоземного воздушно-космического пространства (ОВКП) [3].

Траекторию движения ВС можно представить в виде множества S , формируемого по данным расположенных на борту ВС пилотажно-навигационных комплексов. В рамках статьи полагается, что положение

ВС определяется относительно некоторой точки. Это позволяет записать множество S в виде:

$$S = \{\vec{s}_1, \vec{s}_2, \dots, \vec{s}_i\},$$

$$\vec{s}_i = \langle r_i, \beta_i, \varepsilon_i, t_i \rangle,$$

где r_i – определённая дальность ВС, км;
 β_i – определённый азимут ВС, град;
 ε_i – определённый угол места ВС, град;
 t_i – время определения параметров.

Логика дальнейшего рассуждения построена на том, что часть маршрута полёта ВС проходит через зоны ответственности некоторых из средств радиолокационного мониторинга ОВКП. В таком случае началом системы координат может выступать точка размещения средства, а в зоне ответственности средства находятся космические объекты (КО) – действующие и неисправные космические аппараты, а также их элементы [4]. Их положение представляется в виде множества M измерений:

$$M = \{\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_j\},$$

$$\vec{m}_j = \langle r_j, \beta_j, \varepsilon_j, t_j \rangle,$$

где r_j – дальность КО, км;
 β_j – азимут КО, град;
 ε_j – угол места КО, град;
 t_j – время проведения измерения.

Как правило, по КО имеется априорная координатная информация, содержащаяся в различных каталогах [5], что позволяет записать множество A измерений местоположения КО по данным каталогов:

$$A = \{\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_o\},$$

$$\vec{a}_o = \langle r_o, \beta_o, \varepsilon_o, \Delta r_o, t_o \rangle,$$

где r_o – дальность КО, км;
 β_o – азимут КО, град;
 ε_o – угол места КО, град;
 Δr_o – точность измерения дальности в каталоге, км;
 t_o – время проведения измерения.

Средство мониторинга ОВКП имеет собственную погрешность измерений, включающую аппаратную, атмосферную и методические составляющие. В рамках статьи используется допущение, что величиной аппаратной и методической составляющих можно пренебречь, а величина атмосферной составляющей определяется полным электронным содержанием [6]. Для компенсации атмосферной составляющей используются сигналы НКА ГНСС, положение которых относительно средства мониторинга ОВКП можно представить в виде множества N измерений от НКА

$$N = \{\vec{n}_1, \vec{n}_2, \dots, \vec{n}_k\},$$

$$\vec{n}_k = \langle \beta_k, \varepsilon_k, I_k, t_k \rangle,$$

где β_k – азимут НКА, град;

ε_k – угол места НКА, град;

I_k – полное электронное содержание в соответствующем угловом направлении, *TECU*;

t_k – время проведения измерения.

Для представленных исходных данных необходимо предложить решение, удовлетворяющее требованиям:

$$r_u = r_i + \Delta r_i,$$

$$\beta_u = \beta_i + \Delta \beta_i,$$

$$\varepsilon_u = \varepsilon_i + \Delta \varepsilon_i,$$

где r_u – истинная дальность ВС, км;

Δr_i – погрешность определения дальности ВС, км;

β_u – истинный азимут ВС, град;

$\Delta \beta_i$ – погрешность определения азимута ВС, град;

ε_u – истинный угол места ВС, град;

$\Delta \varepsilon_i$ – погрешность определения угла места ВС, град.

При условии:

$$\Delta r_i \leq \Delta r_{req},$$

$$\Delta \beta_i \leq \Delta \beta_{req},$$

$$\Delta \varepsilon_i \leq \Delta \varepsilon_{req},$$

где Δr_{req} – допустимая погрешность определения дальности ВС, км;

$\Delta \beta_{req}$ – допустимая погрешность определения азимута ВС, град;

$\Delta \varepsilon_{req}$ – допустимая погрешность определения угла места ВС, град.

Ниже представлено решение задачи.

Решение задачи обеспечения воздушного судна комплексированной радиолокационной и радионавигационной информацией

Решение задачи рассмотрено на примере измерения дальности, так как по имеющимся оценкам изменение параметров среды распространения радиоволн наиболее негативно влияет на отклонение траектории распространения радиоволн от прямолинейной [6]. Это ведёт к увеличению ошибок измерения дальности вплоть до неприемлемых значений.

Так как радиолокационные и радионавигационные сигналы пересекают среду распространения радиоволн и испытывают влияние вариаций I_k , то:

$$\Delta r_i = f(\beta_k, \varepsilon_k, I_k, t_k).$$

В случае, если в заданном угловом направлении отсутствует НКА, то необходимо сформировать M' – множество КО, при зондировании которых траектория распространения радиоволны пересекала бы области пространства, соответствующие маршруту полёта ВС:

$$M' \cap S.$$

При этом выборка должна удовлетворять требованию о наличии априорной координатной информации:

$$M' \cap A.$$

При сопровождении КО множества M' по каждому измерению проверяется условие:

$$|r_o - r_j| \leq \Delta r_o,$$

и в случае его выполнения проводится расчёт I_k . Вопрос расчёта величины I_k подробно рассмотрен в работах [2, 6]. Передача результатов расчёта на борт ВС, в случае необходимости, может быть выполнена с использованием функционального дополнения ГНСС «ГЛОНАСС» - «Система дифференциальной коррекции и мониторинга».

Заключение. В статье представлен вариант комплексирования радиолокационной и радионавигационной информации для обеспечения воздушного судна. При этом основная идея комплексирования основана на влиянии среды распространения радиоволн на радионавигационные и радиолокационные сигналы.

Представленный материал имеет предварительный характер, так как в нём не учитываются технические особенности реализации навигационной аппаратуры конкретных ВС и средств радиолокационного мониторинга ОВКП. Вместе с тем, наблюдающий активный рост числа КО и увеличение количества средств радиолокационного наблюдения [4] несомненно ведут к увеличению объёмов потенциальных данных о параметрах среды распространения радиоволн.

Список использованных источников:

1. Захарин А.В., Райчонок А.Ю., Шепеть И.П. Формализованная модель задачи повышения точности пилотажно-навигационных комплексов // Межвузовский сборник научных трудов. 2017. С. 45-48.

2. Влияние ионосферной и магнитосферной возмущенности на сбои глобальных навигационных спутниковых систем / Ю. В. Ясюкевич, И. В. Живетьев, А. С. Ясюкевич [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 1. – С. 88-98. – DOI 10.21046/2070-7401-2017-14-1-88-98.

3. Куприянов, Н. А. Подход к использованию каталогизированных космических объектов в интересах потребителей навигационной информации / Н. А. Куприянов, Р. С. Мисько // СБНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2020. – № 1(75). – С. 36-38.

4. Горовенко Л.А. Математические методы компьютерного моделирования физических процессов// Международный журнал экспериментального образования. Пенза: ИД «Академия естествознания», 2017. - №2. - с. 92-93.

5. Космический мусор. Книга 1. Методы наблюдения и модели космического мусора / В. М. Агапов, А. В. Головкин, В. А. Емельянов [и др.]. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 245 с. – ISBN 9785922115032.

6. Методы компенсации ионосферной составляющей ошибки радиотехнических систем с применением данных полного электронного содержания GPS/ГЛОНАСС / Ю. В. Ясюкевич, В. Б. Оводенко, А. А. Мыльникова [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 2(34). – С. 19-31. – DOI 10.15350/2306-2819.2017.2.19.