

Организация измерений при испытаниях корабельных летательных аппаратов в безполигонных условиях открытого моря

Туголуков В.А.

Испытательный центр «Морской» Государственного летно-испытательного центра им В.П. Чкалова, Приморский-1, ул. Гагарина, 3/61, Феодосия, 298177, Республика Крым, Россия

e-mail: variant_co@mail.ru

Статья поступила 28.11.2020

Аннотация

Рассматриваются методические вопросы организации внешне-траекторных измерений оптимизируемых параметров корабельных авиационных систем при испытаниях корабельных летательных аппаратов в условиях открытого моря и отсутствия трассового измерительного полигона в акватории проведения государственных испытаний авианосного корабля.

Предложен дифференциальный метод измерений, основанный на коррекции навигационных параметров корабельных летательных аппаратов относительно авианосного корабля и передаче на определяемые точки набора поправок к измерениям по всем навигационным спутникам, которые потенциально могут быть использованы при спутниковых наблюдениях на определяемых точках, с измерением на береговой базовой геодезической станции с известными координатами псевдодальностей до всех "видимых" спутников и вычислением ее измеренных координат, а затем и измеренных дальностей (по измеренным

координатам станции и координатам спутников), с обработкой информации по вычислению усредненных по нескольким заходам величин среднеквадратической ошибки боковых и вертикальных отклонений для корабельного летательного аппарата на взлете и посадке на корабль и при боевом управлении с авианосного корабля и/или с корабельного самолета радиолокационного дозора и наведения.

Проводится сопровождающий контроль за достигаемыми значениями уровней эффективности авианосного корабля и получение точностных характеристик корабельных летательных аппаратов в интересах оценки выполнимости требований к корабельным авиационным системам и авианосному кораблю в целом.

Ключевые слова: авианосный корабль, корабельные авиационные системы, оптимизация, глобальная навигационная спутниковая система, дифференциальный метод, обработка информации.

Формализация задач оптимизации [1,2,3] и оценки корабельных авиационных систем создаваемого авианосного корабля позволяет применить разработанные критериальные модели [4,5] оптимизации и алгоритмы оценки для проведения сопровождающего контроля за достигаемыми значениями уровней эффективности в процессе всего жизненного цикла авианосного корабля, в том числе и государственных испытаний по оптимальной программе, формируемой в рамках комбинированной задачи исследования операций [6,7] последовательным решением задач оптимального планирования объема испытаний, распределения пунктов

программы по условиям и факторам проведения испытаний и согласования времени проведения со сроками проведения испытаний авианосного корабля.

В процессе государственных испытаний авианосного корабля оцениваются все корабельные системы, в том числе технические средства корабля по организации и обеспечению полетов авиации, к которым относятся радиотехнические (радиолокационные, спутниковые) и оптико-электронные (оптические, телевизионные, светотехнические) системы корабля, и которые, совместно с бортовым оборудованием корабельных летательных аппаратов (ЛАК), в пределах своих зон действия должны обеспечивать: ближнюю навигацию и управление полетами от взлета до посадки ЛАК; контроль воздушного пространства в районе корабля; привод ЛАК на корабль; заход на посадку и посадку ЛАК на корабль [8].

Для получения информации от корабельных радиоэлектронных средств (РЭС) используется сопряжение корабельной радиотехнической системы ближней навигации (РСБН), систем управления полетами, захода на посадку и посадки ЛАК с боевой информационно-управляющей системой (БИУС), "замыкающей на себя" все корабельные источники информации и аппаратуру документирования на корабельных постах.

Для получения информации от корабельных оптико-электронных систем (ОЭС) используется сопряжение корабельной телевизионной системы, предназначенной для наблюдения и мониторинга посадки ЛАК, наблюдения взлета ЛАК и технических позиций на полетной палубе, наблюдения надводной обстановки (акватории) в носовой и кормовой секторах корабля, недоступных для

средств радиотехнического наблюдения, а также документирования этих процессов, с посадочным радиолокационным комплексом (ПРЛК), оптической системой посадки (ОСП), корабельным навигационным комплексом (НК) и корабельным комплексом связи (ККС).

Данная информация от корабельных РЭС и ОЭС документируется и может быть использована для получения точностных характеристик захода на посадку и посадки ЛАК и оценки выполнимости требований к системам посадки в безполигонных условиях открытого моря в акватории проведения государственных испытаний авианосного корабля.

При этом, корабельные РЭС и ОЭС могут быть использованы в качестве резервных средств внешне-траекторных измерений (ВТИ).

Для повышения точности измерений при получении информации от корабельных РЭС и ОЭС возможно использование дифференциального метода спутниковых определений [9,10] с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) в качестве основных средств ВТИ, тем более в безполигонных условиях проведения испытаний авианосного корабля.

В основе дифференциального метода лежит относительное постоянство во времени и пространстве некоторых элементарных погрешностей, участвующих в формировании общей погрешности измерений абсолютного положения ЛАК и авианосного корабля с установкой на них приемников спутниковых сигналов (СС-А и СС-К соответственно). Основными слабо меняющимися погрешностями измерений являются: синхронизация шкал времени навигационных искусственных

спутников Земли (НИСЗ) и приемника спутниковых сигналов; эфемериды НИСЗ, а также влияние непостоянства характеристик ионосферы и тропосферы по трассе распространения сигнала от НИСЗ [11, 12].

Дифференциальный метод учитывает свойство пространственно-временной коррелированности погрешностей измерений радионавигационных параметров спутниковых сигналов, проведенных в точках СС-А и СС-К пространства в близкие моменты времени [13].

Сигналы НИСЗ, одновременно "видимых" на базовой геодезической станции (БГС), расположенной на берегу с известными координатами, и на определяемых точках корабля (СС-К) и ЛАК (СС-А), воспринимаются соответствующими приемниками СС-К и СС-А (рисунок 1).

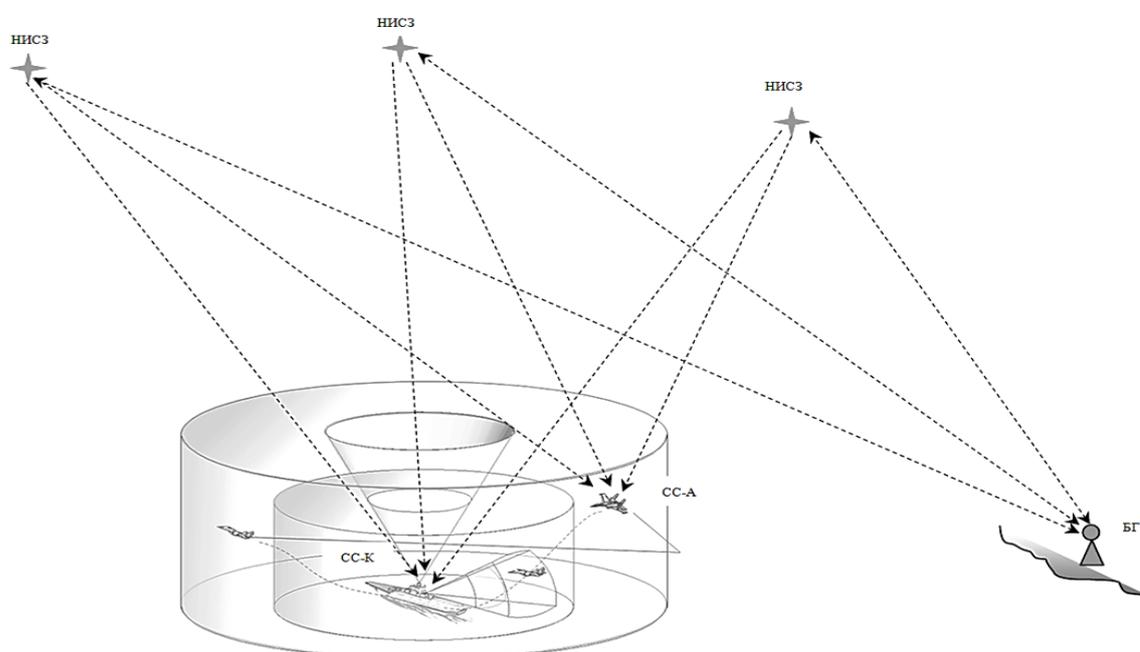


Рисунок 1 – Дифференциальный метод спутниковых определений положения ЛАК-самолета на маршруте

Дифференциальный метод используется в относительном режиме при двух определяемых точках (СС-К и СС-А), на которых измеряются псевдодальности до

навигационных спутников (НИСЗ). Данные измерений передаются с одной точки на другую так, чтобы при обработке имелись данные, измеренные в обеих точках [14, 15].

Пусть x_K, y_K, z_K – абсолютные координаты антенны, расположенной на точке СС-К; x_A, y_A, z_A – координаты антенны, расположенной на объекте СС-А.

В точках A и K измеряются псевдодальности до НИСЗ (рисунок 2):

$$r_{Ai} = (x_{Ci} - x_A)^2 + (y_{Ci} - y_A)^2 + (z_{Ci} - z_A)^2 + C_{\tau_A},$$

$$r_{Ki} = (x_{Ci} - x_K)^2 + (y_{Ci} - y_K)^2 + (z_{Ci} - z_K)^2 + C_{\tau_K},$$

где x_{Ci}, y_{Ci}, z_{Ci} – координаты i -го НИСЗ.

Соответственно τ_K и τ_A – расхождения шкал времени точек K и A относительно шкал времени систем ГЛОНАСС/GPS.

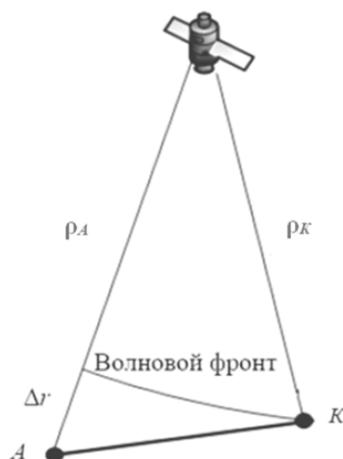


Рисунок 2 – Геометрия относительных измерений

Истинные расстояния до НИСЗ составят:

$$\rho_{Ai} = (x_{Ci} - x_A)^2 + (y_{Ci} - y_A)^2 + (z_{Ci} - z_A)^2,$$

$$\rho_{Ki} = (x_{Ci} - x_K)^2 + (y_{Ci} - y_K)^2 + (z_{Ci} - z_K)^2$$

Разность измеряемых псевдодальностей можно представить в виде

$$\Delta r_i = r_{Ki} - r_{Ai} = k_{xi}X + k_{yi}Y + k_{zi}Z + \Delta \tau,$$

где X, Y, Z – координаты вектора-базы, соединяющего точки A и K

в выбранной системе координат:

$$X = x_K - x_A, \quad Y = y_K - y_A, \quad Z = z_K - z_A;$$

k_{xi}, k_{yi}, k_{zi} – направляющие косинусы, определяющие направление от середины вектора-базы на i -й НИСЗ:

$$k_{xi} = \frac{(x_K - x_A)/2 - x_{Ci}}{(\rho_{Ki} + \rho_{Ai})/2}, \quad k_{yi} = \frac{(y_K - y_A)/2 - y_{Ci}}{(\rho_{Ki} + \rho_{Ai})/2}, \quad k_{zi} = \frac{(z_K - z_A)/2 - z_{Ci}}{(\rho_{Ki} + \rho_{Ai})/2};$$

$\Delta\tau$ – расхождение шкал времени точек A и K :

$\Delta\tau = c \tau_K - \tau_A$, c – скорость света в вакууме;

r_{Ki} – псевдодальность до i -го НИСЗ, измеренная на точке K ;

r_{Ai} – псевдодальность до i -го НИСЗ, измеренная на точке A .

Коэффициенты k_{xi}, k_{yi}, k_{zi} учитывают кривизну волнового фронта [16,17].

В итоге получаем систему уравнений для вычисления относительных координат X, Y, Z и разности шкал времени точек A и K и опорной БГС.

В дальнейшем на БГС соответствующие сигналы поступают в блок формирования корректирующей информации. Основное назначение данного блока – вычисление корректирующих поправок и формирование кадра корректирующей информации, который по каналу связи с БГС передается в приемники спутниковых сигналов СС-К и СС-А, установленные на корабле и ЛАК, соответственно.

Переданными таким образом поправками корректируют результаты спутниковых наблюдений, выполненных на определяемых точках, и по этим данным вычисляются их координаты. Для этого используют соответствующий вычислительный блок. В случае, когда относительные координаты определяются в реальном режиме времени, при передаче измерений от одной точки к другой (A и K) неизбежно возникает задержка Δt . В этом случае необходима синхронизация измерений на время измерения псевдодальностей в навигационной аппаратуре корабля и ЛАК, где решается задача относительных определений.

В аппаратуре, с которой передаются измерения, оцениваются первые две производные псевдодальности за время k . Затем они вместе с другими данными передаются в аппаратуру, где решается задача относительных определений. По времени запаздывания измерений Δt корректируются псевдодальности в соответствии с выражением.

$$r_i(k + \Delta t) = r_i(k) + r_i(k)\Delta t + r_i(k)\Delta t^2/2.$$

Измеренные в определяемых точках псевдодальности корректируют с помощью поправок, относящихся к используемым НИСЗ, по формуле

$$D(t) = \rho(t) + \Delta\rho_0 + (d/(\Delta\rho_0)/dt)(t - t_c),$$

где:

$D(t)$ - скорректированное в момент времени t значение дальности от определяемой точки до соответствующего НИСЗ;

$\rho(t)$ - псевдодальность, измеренная в момент времени t ;

$\Delta\rho_0$ - поправка к псевдодальности, вычисленная на БГС в момент времени t ;

$d/(\Delta\rho_0)/dt$ - поправка, характеризующая скорость изменения поправки $\Delta\rho_0$;

t - шкала времени приемника;

t_c - время по шкале времени НИСЗ.

Как правило, при практической реализации дифференциального метода измеряют псевдодальности по P -коду [18]. В то же время этот метод используют и при измерении псевдодальностей фазовым способом. Дифференциальные поправки в этом случае передают с БГС на определяемую точку, как в форме необработанных измерений фазы, так и в форме поправок к фазе несущей. Такой режим работы ГНСС ($PD\ GPS$) повышает точность определения абсолютного положения точки (A и K) до 0,01...0,05 м [19, 20].

Для приема дифференциальных поправок спутниковые приемники имеют специальную антенну, приемное и вычислительное устройства, одно из которых вычисляет текущие значения скорректированных псевдодальностей, другое – решает по ним пространственную линейную засечку. Результаты решения в виде геодезических координат определяемой точки индицируются на табло и записываются в "память" приемника [21].

Этот же метод особо применим для обработки получаемой информации от корабельной телевизионной оптико-электронной системы (рисунок 3) на наиболее важном этапе посадки ЛАК на авианосный корабль, где точность измерения курсоглиссадных параметров является наиболее критичной к безопасности полетов ЛАК с корабля.

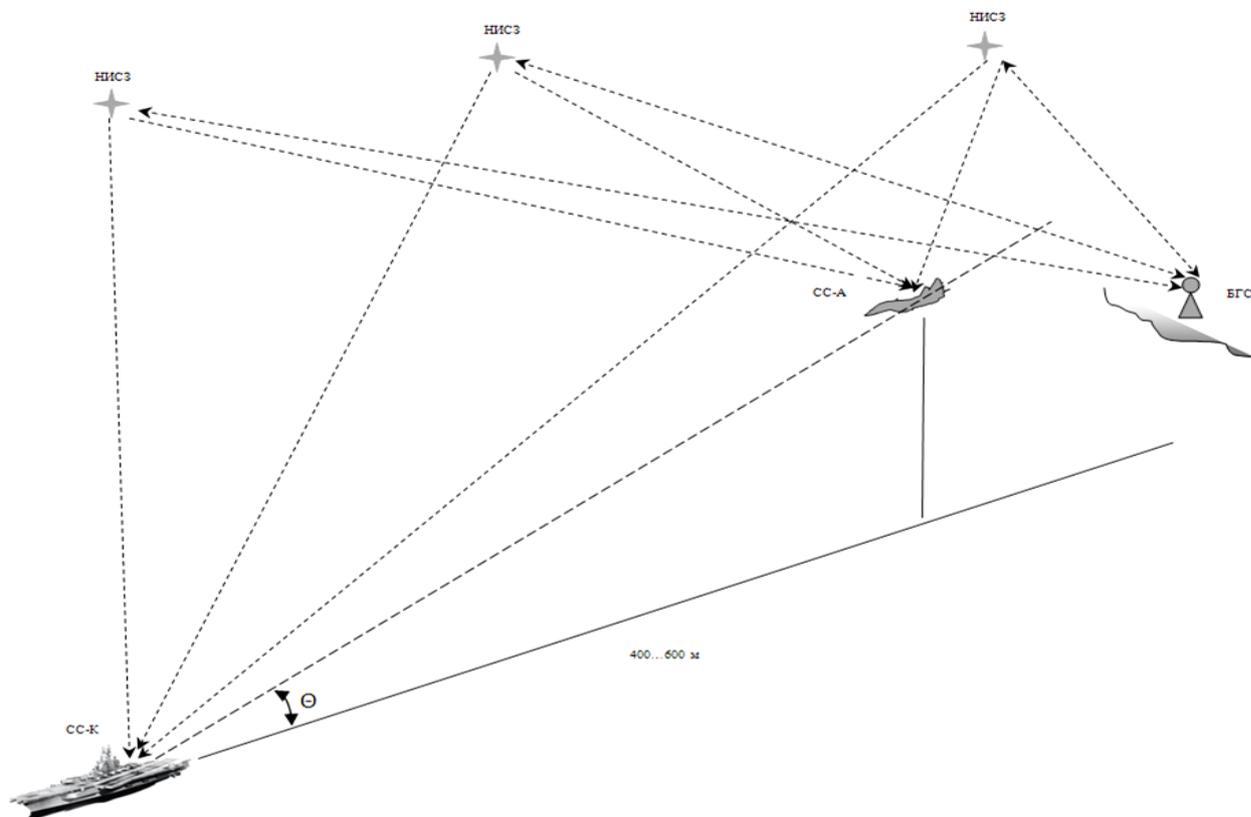


Рисунок 3 – Дифференциальный метод спутниковых определений положения ЛАК - самолета на посадочной траектории

После полетов по электронному протоколу определяются дальность начала сопровождения и массив данных для обработки результатов вычисления боковых и вертикальных отклонений ЛАК на дальности $\approx 600 \div 400$ м.

Выбранный массив данных, например, для боковых отклонений, разбивается на выборки с равным количеством измерений (отсчетов) в выборке (рисунок 4).

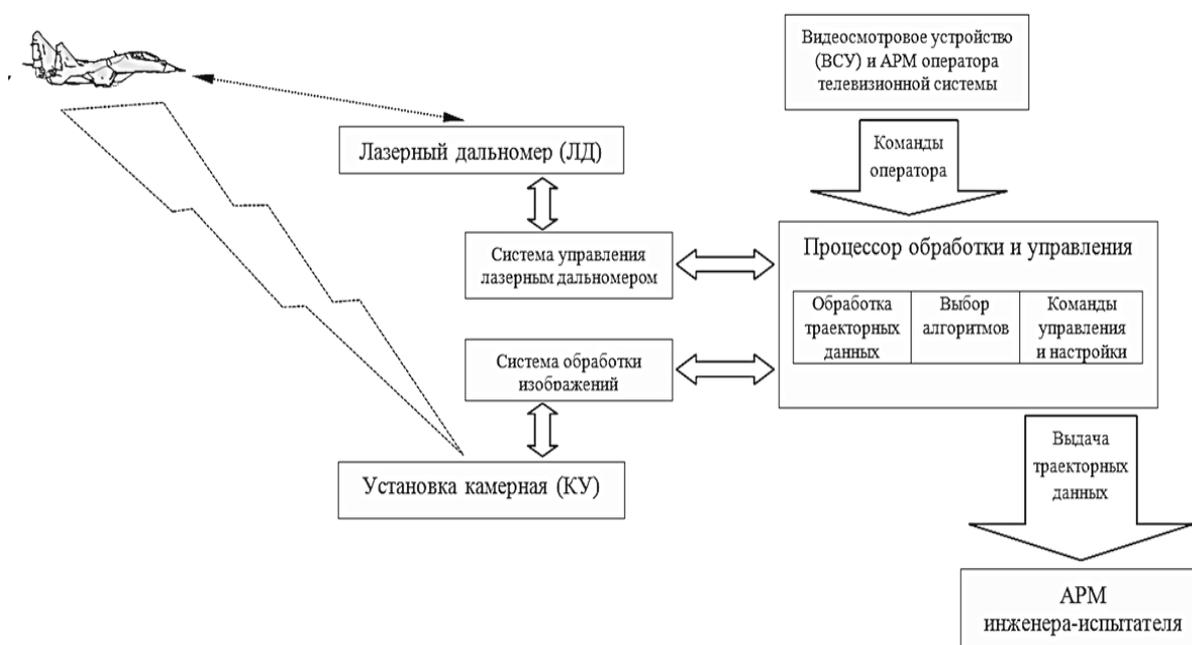


Рисунок 4 – Модель обработки траекторных данных в системе телевизионного слежения за ЛАК – самолетом на посадочной траектории

Количество измерений (отсчетов) в выборке выбирается из условия, чтобы за время выборки T_e боковым случайным смещением ЛАК (в силу инерционности ЛАК за счет большой массы) можно было пренебречь.

Величина среднеквадратической ошибки (с.к.о.) σ определения бокового отклонения для J -той выборки вычисляется по формуле:

$$\sigma(Y_J) = [(n-1)^{-1} \sum (Y_{Ji} - Y_{JC})^2]^{0,5},$$

где:

i - номер отсчета в выборке ($i = 1, 2, 3 \dots n$);

n - количество отсчетов в выборке;

J - номер выборки в массиве ($J = 1, 2, 3 \dots N$);

N - количество выборок в массиве данных;

Y_{JC} - среднее значение бокового отклонения ЛАК на участке J -той выборки, принимаемое за истинное положение ЛАК и, в свою очередь, вычисляемое по формуле:

$$Y_{JC} = n^{-1} \sum Y_{Ji}.$$

Усредненная для данного захода величина с.к.о. определения боковых отклонений вычисляется по формуле:

$$\sigma(Y) = N^{-1} \sum \sigma(Y_J).$$

Аналогичным образом определяется с.к.о. вычисления вертикальных отклонений. Метод обработки информации позволяет вычислить усредненную по нескольким заходам величину с.к.о. отклонений (боковых и вертикальных, соответственно) для ЛАК – самолета, не превышающую 1 метр независимо от метода получения дальности (от ПРЛК или телевизионным способом). При этом рекомендуемое значение $n = 5$ (интервал между отсчетами 0,2 с, время выборки $T_e = 1$ с). Количество заходов определяется инженером-испытателем. В зависимости от условий наблюдения, например, по метеорологической дальности видимости (МДВ), допускается начинать сопровождение с дальности до ЛАК менее 3000 м.

Проверка вывода и печати записанной информации на устройство документирования на бумажный носитель информации (УДБН) после завершения полетов проводится на автоматизированном рабочем месте (АРМ) главного оператора телевизионной системы.

Библиографический список

1. Антонов Ю.С. Некоторые проблемы оптимизации построения системы вооружения и управления ее элементами в процессе боевых действий // Вестник Академии военных наук. 2005. № 3. С. 128 - 138.
2. Лебедев А.А. Введение в анализ и синтез систем. - М.: Изд-во МАИ, 2001. - 230 с.
3. Малышев В.В. Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления. - М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. - 440 с.
4. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столяров Е.М. Методы оптимизации. - М.: Наука, 1978. - 358 с.
5. Поленин В.И. Применение вероятностных моделей при планировании операций // Военная мысль. 2004. № 3. URL: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/2004-vm/9430-rimeneenie-verojatnostnyh-modelej-pri-planirovani>
6. Демидов Б.А., Луханин М.И., Величко А.Ф., Науменко М.В. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники: монография. - Киев: Изд-во Стилос, 2011. - 464 с.
7. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. - М.: Радио и связь, 1984. - 396 с.
8. Поляков В.Б., Неретин Е.С., Иванов А.С., Будков А.С., Дяченко С.А., Дудкин С.О. Архитектура перспективных комплексов управления бортовым оборудованием // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93459>

9. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации: системы GPS, NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М.: Радио и связь, 2005. - 272 с.
10. Перов А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. – М.: Радиотехника, 2010. - 800 с.
11. Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура потребителей. Классификация. ГОСТ Р 52457-2005. - М.: Стандартинформ, 2007. - 5 с.
12. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Определение относительных координат по измерениям псевдодальностей. ГОСТ Р 53607-2009. - М.: Стандартинформ, 2010. - 14 с.
13. Янчинин В. Эфемериды спутников. URL: <http://top-formula.net/language/ru/эфемериды-спутников>.
14. Тяпкин В.Н., Гарин Е.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС: монография. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. - 260 с.
15. Малышев В.В., Старков А.В., Федоров А.В. Методика разработки программно-моделирующего комплекса для отработки средств проведения динамических операций космических аппаратов // Труды МАИ. 2012. № 57. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=30798>
16. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат: методы

преобразования координат определяемых точек. ГОСТ Р 51794-2001. – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.

17. Резинченко В.И., Шашков А.А. Фазовый метод определения ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы // Навигация и гидрография. 1996. № 2. С. 115 – 119.

18. Поваляев А.А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат. - М.: Радиотехника, 2008. - 328 с.

19. Александров Е.Е., Кузнецов Ю.А. Определение ориентации наземного подвижного объекта при помощи навигационных спутников // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2002. № 2. С. 65 - 69.

20. Боровицкий В.Г., Жолнеров В.С., Зарубин С.П. и др. Реализация концепции интеграции наземных радионавигационных систем дальнего действия и спутниковых навигационных систем // Труды ИЛА РАН. 2005. № 13. С. 160 - 169.

21. Бар-Шалом Я., Ли Х.Р. Траекторная обработка. Принципы, способы и алгоритмы: пер. с англ. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, Ч. 2. - 240 с.

Arranging measurements while shipborne aerial vehicles testing under non-test-ground conditions of the open sea

Tugolukov V.A.

The Test Center “Morskoy” of State Fly-Test Center named V.P. Chkalov, 3/61, Gagarin str., Primorskiy-1, 298177, Feodosia, Crimea Republic

e-mail: variant_co@mail.ru

Abstract

The article considers methodological issues arranging external trajectory measurements of the shipborne aviation systems' parameters while the shipborne aerial vehicles testing under the open sea conditions and absence of the lack of the route measuring test-ground within the water area for the State testing of aircraft carrier.

The author suggested a differential measuring method based on navigation parameters correction of the shipborne aerial vehicles relative to the aircraft carrier, and transmitting the set of corrections to measurements of all navigation satellites to the definable points. These corrections can be used at the satellite observations at the definable points with measuring at the coastal geodetic station with known coordinates of pseudo-range to all “visible” satellites and computing its measured coordinates, and then the measured ranges as well (according to the measured coordinates of both station and satellites). Then further processing information on computing the root-mean-square error of lateral and vertical deflections of the shipborne aerial vehicle while takeoff and landing on the ship, and at combat control from an aircraft carrier ship and / or from a shipborne radar patrol and guidance aircraft is proposed is being performed.

The accompanying monitoring of the achieved values of the aircraft carrier efficiency levels is being performed, and the accuracy characteristics of the shipborne aircraft is being obtained to assess the feasibility of the requirements for the carried aviation systems and for the aircraft carrier ship as a whole.

Keywords: aircraft carrier, carried aviation systems, optimization, global navigation satellite system, differential method, information processing.

References

1. Antonov Yu.S. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2005, no. 3, pp. 128 - 138.
2. Lebedev A.A. *Vvedenie v analiz i sintez system* (Introduction to Systems Analysis and Synthesis), Moscow, Izd-vo MAI, 2001, 230 p.
3. Malyshev V.V. *Metody optimizatsii v zadachakh sistemnogo analiza i upravleniya* (Optimization methods in problems of system analysis and control), Moscow, Izd-vo MAI-PRINT, 2010, 440 p.
4. Moiseev N.N., Ivanilov Yu.P., Stolyarov E.M. *Metody optimizatsii* (Optimization methods), Moscow, Nauka, 1978, 358 p.
5. Polenin V.I. *Voennaya mysl'*, 2004, no. 3. URL: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/2004-vm/9430-rimnenie-verojatnostnyh-modelej-pri-planirovanii>
6. Demidov B.A., Lukhanin M.I., Velichko A.F., Naumenko M.V. *Sistemnaya metodologiya planirovaniya razvitiya, predproektnykh issledovaniy i vneshnego proektirovaniya vooruzheniya i voennoi tekhniki* (System methodology for development

planning, pre-design research and external design of weapons and military equipment), Kiev, Izd-vo Stilos, 2011, 464 p.

7. Kudryavtsev E.M. *Issledovanie operatsii v zadachakh, algoritmakh i programmakh* (Operations research in problems, algorithms and programs), Moscow, Radio i svyaz', 1984, 396 p.

8. Polyakov V.B., Neretin E.S., Ivanov A.S., Budkov A.S., Dyachenko S.A., Dudkin S.O. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93459>

9. Yatsenkov V.S. *Osnovy sputnikovoi navigatsii: sistemy GPS, NAVSTAR i GLONASS* (Basics of satellite navigation: GPS, NAVSTAR and GLONASS systems), Moscow, Radio i svyaz', 2005. 27 p.

10. Perov A.I., Kharisov V.N. *GLONASS. Printsipy postroeniya i funktsionirovaniya* (GLONASS. Principles of developing and functioning), Moscow, Radiotekhnika, 2010, 800 p.

11. *Global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema. Apparatura potrebitelei. Klassifikatsiya. GOST R 52457-2005* (Global navigation satellite system. Consumer equipment. Classification. State Standard R 52457-2005), Moscow, Standartinform, 2007, 5 p.

12. *Global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema. Metody i tekhnologii vpolneniya geodezicheskikh i zemleustroitel'nykh rabot. Opredelenie otnositel'nykh koordinat po izmereniyam psevdodal'nostei. GOST R 53607-2009* (Global navigation satellite system. Methods and technologies for performing geodesic and land surveying

works. Determination of relative coordinates from pseudorange measurements. State standard R 53607-2009), Moscow, Standartinform, 2010, 14 p.

13. Yanchinin V. *Efemeridy sputnikov*. URL: <http://top-formula.net/language/ru/эфемериды-спутников>.

14. Тыаркин V.N., Гарин E.N. *Metody opredeleniya navigatsionnykh parametrov podvizhnykh sredstv s ispol'zovaniem sputnikovoi navigatsionnoi sistemy GLONASS* (Methods for navigation parameters determining of mobile aids using the GLONASS satellite navigation system), Krasnoyarsk, Sibirskii federal'nyi universitet, 2012, 260 p.

15. Malyshev V.V., Starkov A.V., Fedorov A.V. *Trudy MAI*, 2012, no. 57. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=30798>

16. *Apparatura radionavigatsionnaya global'noi navigatsionnoi sputnikovoi sistemy i global'noi sistemy pozitsionirovaniya. Sistemy koordinat: metody preobrazovaniya koordinat opredelyaemykh toчек. GOST R 51794-2001*(Radio navigation equipment of the global navigation satellite system and the global positioning system. Coordinate systems: methods for transforming of the coordinates of the points to be determined. State standard R 51794-2001), Moscow, Gosstandart Rossii, 2001, 10 p.

17. Rezinchenko V.I., Shashkov A.A. *Navigatsiya i gidrografiya*, 1996, no. 2, pp. 115 – 119.

18. Povalyaev A.A. *Sputnikovye radionavigatsionnye sistemy: vremya, pokazaniya chasov, formirovanie izmerenii i opredelenie otnositel'nykh koordinat* (Satellite radio navigation systems: time, clock readings, measurements forming and of relative coordinates determining), Moscow, Radiotekhnika, 2008, 328 p.

19. Aleksandrov E.E., Kuznetsov Yu.A. *Radioelektronika. Informatika. Upravlenie*, 2002, no. 2, pp. 65 - 69.
20. Borovitskii V.G., Zholnerov V.S., Zarubin S.P. et al. *Trudy ILA RAN*, 2005, no. 13, pp. 160 - 169.
21. Bar-Shalom Ya., Li Kh.R. *Traekornaya obrabotka. Printsipy, sposoby i algoritmy* (Trajectory processing. Principles, methods and algorithms), Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2011, vol. 2, 240 p.