

УДК 621.396

В.В. Поляков

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВАРІАНТ ПРЕДСТАВЛЕННЯ НА БОРТУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ЗЛІТНО-ПОСАДОЧНОЇ СМУГИ ТА СВІЛЛОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОСАДКОЮ ЛІТАКІВ НА НЕОБЛАДНАНІ АЕРОДРОМИ

В статті розроблена математична модель представлення злітно-посадочної смуги та світлотехнічного забезпечення аеродрому в векторно-матричній формі для можливості використання обчислювальних засобів та подальшого відображення на індикаторі літального апарату з метою підвищення рівня безпеки польоту при виконанні посадки в складних метеорологічних умовах на необладнані аеродроми. Обчислення взаємного розташування літального апарату і злітно-посадочної смуги в математичній моделі, що пропонується, виконується по далекомірним вимірюванням.

Ключові слова: посадка літального апарату, світлотехнічне забезпечення аеродрому.

Вступ

Постановка проблеми. Система посадки літального апарату (ЛА) повинна формуватися за рахунок комплексного застосування усіх засобів радіотехнічного забезпечення, у тому числі й світлотехнічного обладнання, яке забезпечує екіпаж ЛА необхідною інформацією для виконання посадки в складних метеорологічних умовах вдень та вночі. Тому для підвищення безпеки при виконанні посадки літального апарату на аеродроми, які не обладнані світлосигнальними системами, доцільно імітувати світлосигнальні засоби аеродрому на приладах індикації для візуального контролю льотчиком процесу посадки.

Мета статті: розробити математичну модель визначення відносного положення ЛА та злітно-посадочної смуги (ЗПС) в векторно-матричній формі для можливості відображення на приладах індикації літака при відсутності штатного світлотехнічного забезпечення аеродрому з метою підвищення рівня безпеки польоту.

Аналіз публікацій. Поздовжній рух ЛА включає його обертальний рух навколо поперечної осі OZ і поступовий рух по напрямках поздовжньої OX і нормальній OY осей [1, 2] (рис. 1). Осі OX, OY і OZ утворюють зв'язану систему координат OXYZ.

До бокового руху ЛА відносять поступовий рух упродовж осі OZ і обертальні рухи навколо осей OX і OY.

Злітно-посадочна смуга має прямокутну форму та може однозначно визначатися чотирма точками на площині. Для опису точки в просторі необхідно чотири координати, що пов'язане з використанням так званих однорідних координат, основна зручність застосування яких полягає в тому, що з їхньою допомогою всі види перетворень координат можуть бути представлені в єдиній формі [3, 4].

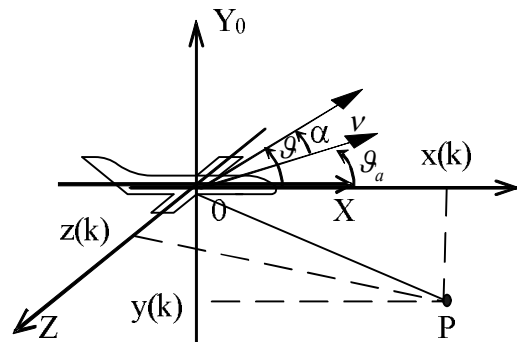


Рис. 1. Системи координат ЛА

Викладення основного матеріалу

Координати вогнів світлотехнічного забезпечення аеродрому визначаються відносно системи координат з центром в контрольній точці аеродрому. Для того щоб можна було зобразити об'єкт на індикаторі ЛА, його необхідно попередньо перевести (або перетворити) в зв'язану систему координат. Але при цьому необхідно враховувати, що на літальному апараті інформація о місцезнаходженні аеродрому розраховується по відстаням до трьох маяків-відповідачів які розміщуються встановленим порядком на осях симетрії злітно-посадочної смуги [5, 6] (рис. 2).

В однорідних координатах положення точки $P(x, y, z)$ записується як

$$P(W^*x, W^*y, W^*z, W)$$

або

$$P(X, Y, Z, W)$$

для будь-якого масштабного множника.

У такому випадку координати визначаються таким чином [7 – 10]:

$$x = \frac{X}{W}, y = \frac{Y}{W}, z = \frac{Z}{W}. \quad (1)$$

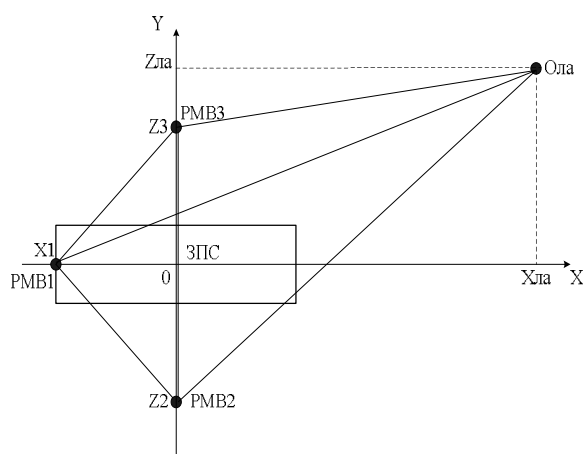


Рис. 2. Варіант розміщення РТЗ, який пропонується при посадці на необладнаний аеродром

Для отримання держання ортогональної системи координат проектуємо однорідну систему координат на площину $W = 1$.

У матричній формі для позначення координат точки в деякому трьохмірному просторі з використанням однорідних координат застосовується запис

$$\|X \ Y \ Z \ W\|.$$

Перетворення однорідних координат описується співвідношенням:

$$\|X \ Y \ Z \ W\| = M \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix},$$

де M – матриця перетворення координат.

Для побудови матриці M бажане перетворення представляється у вигляді суперпозиції простих перетворень, матриці яких відомі:

$$M = T \times S \times R_x \times R_y \times R_z,$$

де M – остаточна матриця перетворення координат, T – матриця переносу, S – матриця масштабування, R_x , R_y і R_z – відповідно матриці обертання навколо осей X , Y і Z .

Далі розпишемо значення матриць із формули (3).

$$M = \begin{pmatrix} S_x \cos\psi \cos\vartheta & S_x \cos\psi \sin\vartheta & S_x \sin\psi & T_x \\ -S_y (\sin\gamma \sin\psi \cos\vartheta + \cos\gamma \sin\vartheta) & -S_y (\sin\gamma \sin\psi \sin\vartheta - \cos\gamma \cos\vartheta) & S_y \sin\gamma \cos\psi & T_y \\ -S_z (\cos\gamma \sin\psi \cos\vartheta - \sin\gamma \sin\vartheta) & -S_z (\cos\gamma \sin\psi \sin\vartheta + \sin\gamma \cos\vartheta) & S_z \cos\gamma \cos\psi & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

В кожен момент часу $t(k)$ кути γ , ϑ та ψ відомі з вектору станів ЛА

$$x^T = \|\psi, \gamma, \omega_x, \vartheta_a, \omega_z, \vartheta, \alpha, H\| \quad [5, 6].$$

Вважаючи, що управління курсом ЛА здійснюється шляхом застосування режиму плоского

Матриця переносу має такий вигляд:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де T_x , T_y і T_z – відповідно значення переносу по осях X , Y і Z .

Матриця масштабування:

$$S = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де S_x , S_y і S_z – відповідно значення коефіцієнтів масштабування по осях X , Y і Z .

Три матриці обертання (по одній для кожної осі):

– по осі X

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (6)$$

– по осі Y

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (7)$$

– по осі Z

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos\vartheta & \sin\vartheta & 0 & 0 \\ -\sin\vartheta & \cos\vartheta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

де γ , ψ і ϑ – відповідно значення кутів крену, ривання та тангажу ЛА.

Підставивши (4 – 8) до (3) визначимо матрицю перетворення координат розміром 4×4 :

В кожен момент часу $t(k)$ кути γ , ϑ та ψ відомі з вектору станів ЛА [5, 6]:

$$x^T = \|\psi, \gamma, \omega_x, \vartheta_a, \omega_z, \vartheta, \alpha, H\|:$$

розвороту й за рахунок стабілізації крену $\Delta\gamma = 0$, приймаємо $\gamma \approx 0$ [11].

Значення переносу по осях X , Z і Y згідно рис. 1 будуть дорівнювати відповідно:

$$T_x = x_k = x_1(K);$$

$$Tz = z(k) = x_2(k);$$

$$Ty = y(k) = h_D,$$

а значення коефіцієнтів масштабування дорівнюватимуть

$$S_x = S_y = S_z = 1.$$

Тобто матриця (9) прийме такий вигляд:

$$M = \begin{pmatrix} \cos\psi\cos\vartheta & \cos\psi\sin\vartheta & \sin\psi & x_1(k) \\ -\sin\vartheta & \cos\vartheta & 0 & h_D \\ -\sin\psi\cos\vartheta & -\sin\psi\sin\vartheta & \cos\psi & x_2(k) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Для представлення ЗПС та світлотехнічного забезпечення на індикаторі ЛА необхідно застосувати матрицю M до всіх вогнів ЗПС і точок відповідним кутам самої ЗПС. У такому випадку вектор координат вогнів ЗПС або точок відповідним кутам самої ЗПС відносно ЛА V' визначається за формулою:

$$V' = M \times V, \quad (11)$$

де M – матриця перетворення (10), V – вектор координат вогнів ЗПС або точок відповідним кутам самої ЗПС.

Висновки

В даній статті представлена математична модель світлотехнічного забезпечення аеродрому в векторно-матричній формі для можливості подальшого відображення на індикаторі літального апарату процесу посадки.

Векторно-матричний вид даної моделі надає можливість зручного використання засобів обчислювальної техніки.

Список літератури

1. Максимов М.В., Горгонов Г.И. Радиоэлектронные системы самонаведения. – М.: Радио и связь, 1982. – 304 с.
2. Красовский А.А., Вавилов Ю.А., Сучков А.И. Системы автоматического управления летательных аппаратов. – М.: Изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1986, – 479 с.
3. Богданов В. Н., Малезжик И. Ф., Верхола А. П. и др. Справочное руководство по черчению. – М.: Машиностроение, 1989. – 864 с.
4. Фролов С. А. Начертательная геометрия: второе изд., перераб. и доп.. – М.: Машиностроение., 1983. – 240 с.
5. Барышев И.В., Поляков В.В., Висоцький О.В. Способы посадки літаків на необладнаний аеродром // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2006. – № 6 (32). – С. 61-66.
6. Барышев И.В., Поляков В.В., Висоцький О.В. Математична модель каналу курсу автономної системи траєкторного управління посадкою літаків на необладнані аеродроми // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – № 4 (12). – С. 61-64.
7. Мешков А., Тихомиров Ю. Visual C++ и MFC. Программирование для Windows NT и Windows 95. – СПб.: BHV – Санкт-Петербург, 1997 – 384 с.
8. Дж. Фоли, А. вэн Дэм Основы интерактивной машинной графики. 1 том. – М.: Мир, 1987. – 368 с.
9. Дж. Фоли, А. вэн Дэм Основы интерактивной машинной графики. 2 том. – М.: Мир, 1987. – 368 с.
10. Роджерс Д. Адамс Дж. Математические основы машинной графики. – М.: Мир, 2001. – 606 с.
11. Летов А.М. Динамика полета и управление. – М.: Наука, 1969. – 424 с.

Надійшла до редколегії 17.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук доцент О.А. Лемешко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВАРИАНТ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НА БОРТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОСАДКОЙ САМОЛЕТОВ НА НЕОБОРУДОВАННЫЙ АЭРОДРОМ

В.В. Поляков

В статье разработана математическая модель представления взлетно-посадочной полосы и обеспечения светотехники аэродрома в векторно-матричной форме для возможности использования вычислительных средств и последующего отображения на индикаторе летательного аппарата с целью повышения уровня безопасности полета при выполнении посадки в сложных метеорологических условиях на необорудованные аэродромы. Вычисление взаимного расположения летательного аппарата и взлетно-посадочной полосы в математической модели, которая предлагается, выполняется по дальномерным измерениям.

Ключевые слова: посадка летательного аппарата, светотехническое обеспечение аэродрома.

VARIANT OF PRESENTATION RUNWAY AND ILLUMINATION ENGINEERING PROVIDING OF THE AUTONOMOUS CONTROL SYSTEM BY LANDING OF AIRPLANES ON THE UNEQUIPPED AIR FIELD ON AIRCRAFT BOARD

V.V. Polyakov

In the article the mathematical model of presentation of air strip and providing of lightning technology of the air field is developed in a vectorial-matrix form for possibility of the use of computing facilities and subsequent reflection on the indicator of aircraft with the purpose of increase of strength of flight security at implementation of landing in difficult meteorological terms on the unequipped air fields. The calculation of mutual location of aircraft and air strip in a mathematical model which is offered is executed on measurements of range-finders.

Keywords: landing of aircraft, light medium providing of the air field.