

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАПРАВКИ САМОЛЕТА ТОПЛИВОМ В ПОЛЕТЕ

А.М. Агеев, А.С. Бочаров, В.А. Демчук, В.И. Конотоп, Д.Б. Литвин, Е.В. Озеров

Предлагается оптико-электронная информационно-измерительная система обеспечения автоматической дозаправки самолета в воздухе на основе системы технического зрения. Данная система может обеспечить САУ заправляемого самолета данными об относительном положении конуса и углах его ориентации относительно заправляемого самолета

Ключевые слова: оптико-электронная система, заправка самолета топливом в полете, техническое зрение

Заправка самолетов топливом в полете находит широкое применение в авиации. Она используется для увеличения дальности и продолжительности полета, повышения полезной нагрузки, улучшения взлетных характеристик (уменьшение длины пробега и скорости отрыва). Вместе с тем выполнение заправки топливом в полете требует от летного состава большого психофизиологического напряжения, выработки навыков определения скорости сближения, глазомерного определения расстояний между самолетами при полетах в плотных боевых порядках. Непосредственное сближение самолетов в процессе дозаправки при наличии атмосферных помех, ошибок пилотов и неисправностей систем заправки сопровождается в ряде случаев летными происшествиями.

Высокая эффективность дозаправки в полете и вместе с тем чрезвычайная сложность управления самолетом в этом режиме обусловили большое число работ, посвященных проблеме управления самолетом на этапе дозаправки. В работах ЦАГИ были решены задачи определения оптимального места встречи самолета-заправщика и заправляемого самолета, максимизации радиуса действия при условии гарантированного возвращения на аэродром базирования, определены оптимальные условия полета и найдены наивыгоднейшие рубежи заправок. Вопросу дозаправки посвящено много работ ЛИИ им. Громова. В них рассматриваются особенности процесса контактирования при дозаправке и определяются рациональные значения основных параметров устойчивости и управляемости

заправляемых самолетов. Ряд работ посвящен анализу и оптимальному выбору параметров заправочных устройств. Затронуты вопросы встречи самолета-заправщика и заправляемого самолета в неблагоприятных погодных условиях, ночью, над безориентирной местностью или над морем в условиях радиомолчания и отсутствия радиолокационных излучений.

Наиболее ответственным и трудоемким с точки зрения управления является процесс контактирования, который требует высокой точности управления самолетом и чрезвычайно высокой нервной и физической загруженности экипажа. На его сложность указывается во многих зарубежных [1, 2] и отечественных публикациях.

Таким образом, решение задачи по автоматизации заправки самолета топливом в полете является актуальным. Реализовать автоматическую дозаправку в воздухе можно путем создания системы автоматической дозаправки самолета в воздухе. Основными этапами при создании такой системы является: разработка высокоточной автоматической системы управления и ее системы информационного обеспечения.

Задача контактирования во многом аналогична задаче наведения на маневренную воздушную цель. Однако существующие штатные прицельные станции самолетов, оборудованных устройствами приема топлива в воздухе, имеют ограничения по дальности и не отвечают точностным требованиям, предъявляемым к заправке в полете. Поэтому для системы автоматической дозаправки требуется установка на заправляемый самолет специальных датчиков.

В качестве таких датчиков предлагается использовать оптико-электронную систему (ОЭС) на основе технического зрения [3], структура которой отражена на рис. 1.

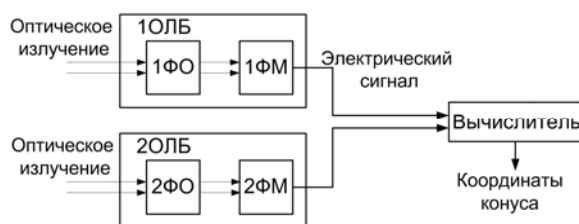


Рис. 1. Структурная схема ОЭС обеспечения автоматической заправки самолета топливом в полете

---

Агеев Андрей Михайлович – ВАИУ, адъюнкт,  
тел. 8-920-438-61-56  
Бочаров Александр Сергеевич – ВАИУ, канд. техн. наук,  
тел. 8-910-341-50-26  
Демчук Валерий Анатольевич – ВАИУ, соискатель,  
тел. 8-919-249-87-08  
Конотоп Василий Иванович – ВАИУ, преподаватель,  
тел. 8-980-548-65-00  
Литвин Дмитрий Борисович – ВАИУ, канд. техн. наук,  
доцент, тел. 8-910-341-50-26  
Озеров Евгений Викторович – ВАИУ, адъюнкт,  
тел. 8-919-249-38-01

Данная система состоит из 2-х оптико-локационных блоков (ОЛБ), с установленными в фокальной плоскости фоточувствительными матрицами, и вычислителя. В качестве ОЛБ могут быть цифровые фотоаппараты или видеокамеры. ОЛБ состоит из фотообъектива (ФО) и фоточувствительной матрицы (ФМ).

Принцип действия данной ОЭС заключается в следующем: ОЛБ фиксируют изображение с объектами заправки в один момент времени на 1 и 2 ФМ. Полученные изображения передаются в электронном виде в вычислитель. В вычислителе производится программная обработка полученных изображений, в результате которой определяются координаты идентичных точек конуса на 1 и 2 ФМ. Для повышения точности нахождения идентичных точек конуса, на окружности его основания на равном удалении друг от друга можно установить три источника излучения, например три светодиода, которые на рис. 2 обозначены буквами I, G, H.

Алгоритм определения координат идентичных точек в связанной с заправляемым самолетом системе координат (СК)  $OXYZ$  рассмотрим на примере точки G.

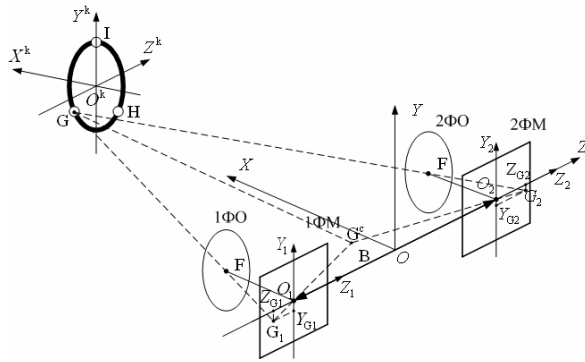


Рис. 2. Схема нахождения координат идентичных точек

Пусть поперечные оси фоточувствительных матриц  $O_1Z_1$  и  $O_2Z_2$  совпадают с поперечной осью заправляемого самолета, тогда вычисление координаты точки G в связанной с заправляемым самолетом СК производится по следующим выражениям:

$$X_G = \frac{B \times F}{\sqrt{(Y_{G1} - Y_{G2}) + (Z_{G1} - Z_{G2})}}, \quad (1)$$

$$Y_G = \frac{Y_{G1} + Y_{G2}}{2F} X_G, \quad (2)$$

$$Z_G = \frac{Z_{G1} + Z_{G2}}{2F} X_G, \quad (3)$$

где  $X_G, Y_G, Z_G$  – координаты точки G в связанной с заправляемым самолетом СК; B – расстояние между

центрами фоточувствительных матриц; F – фокусное расстояние 1 и 2 ОЛБ;  $Y_{G1}, Z_{G1}$  – координаты точки G на 1ФМ;  $Y_{G2}, Z_{G2}$  – координаты точки G на 2ФМ.

Данные выражения вытекают из подобия треугольников: треугольник  $GG^cG_1$  подобен треугольнику  $FO_1G_1$  и треугольник  $GG^cG_1$  подобен треугольнику  $FO_2G_2$ . Координаты точек H и I в связанной СК определяются аналогично.

После нахождения координат точек G, H, I в связанной СК вычисляются углы ориентации конуса относительно заправляемого самолета.

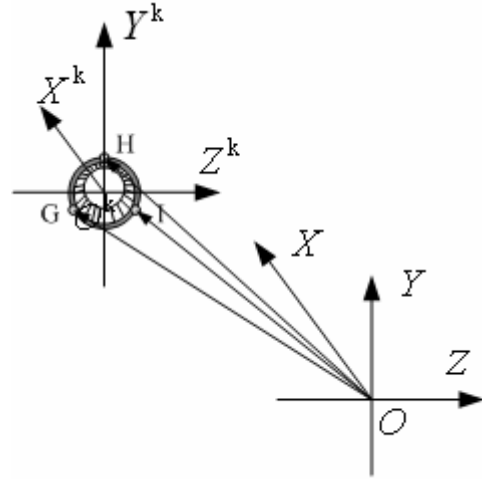


Рис. 3. Векторная диаграмма расположения идентичных точек

Для этого запишем вектора  $\overline{OG}$ ,  $\overline{OH}$ ,  $\overline{OI}$ , изображенные на рис. 1:

$$\overline{OG} = \overline{OO^k} + \overline{O^kG}, \quad (4)$$

$$\overline{OH} = \overline{OO^k} + \overline{O^kH}, \quad (5)$$

$$\overline{OI} = \overline{OO^k} + \overline{O^kI}, \quad (6)$$

или в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = (A)^T \begin{bmatrix} X_G^k \\ Y_G^k \\ Z_G^k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} X_H \\ Y_H \\ Z_H \end{bmatrix} = (A)^T \begin{bmatrix} X_H^k \\ Y_H^k \\ Z_H^k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} = (A)^T \begin{bmatrix} X_I^k \\ Y_I^k \\ Z_I^k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где  $X_H, Y_H, Z_H; X_I, Y_I, Z_I$  – координаты точек H и I в связанной СК соответственно;  $X_G^k, Y_G^k, Z_G^k; X_H^k, Y_H^k,$

$Z_H^k, X_I^k, Y_I^k, Z_I^k$  – координаты точек G, H, I в связанной с конусом СК  $O^k X^k Y^k Z^k$  соответственно;  $X_k, Y_k, Z_k$  – координаты точки  $O^k$  в связанной СК;  $(A)^T$  – матрица направляющих косинусов вида:

$$A = \begin{bmatrix} \cos \psi_k \cdot \cos \vartheta_k & \sin \vartheta_k \\ \sin \gamma_k \cdot \sin \psi_k - \cos \vartheta_k \cdot \cos \gamma_k & \\ \cos \gamma_k \cdot \cos \psi_k \cdot \sin \vartheta_k & \\ \cos \gamma_k \cdot \sin \psi_k + \sin \vartheta_k \cdot \sin \gamma_k & \\ \sin \gamma_k \cdot \cos \psi_k \cdot \sin \vartheta_k & \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} -\sin \psi_k \cdot \cos \vartheta_k \\ \sin \gamma_k \cdot \cos \psi_k + \cos \gamma_k \cdot \sin \psi_k \cdot \sin \vartheta_k \\ \cos \psi_k \cdot \cos \gamma_k - \sin \gamma_k \cdot \sin \psi_k \cdot \sin \vartheta_k \end{bmatrix},$$

где  $\gamma_k, \psi_k, \vartheta_k$  – углы разворотов СК  $O^k X^k Y^k Z^k$  относительно СК  $OXYZ$  в последовательности  $OX, OY, OZ$  соответственно, те углы ориентации конуса относительно заправляемого самолета. Вычитая из выражения (7) выражение (8) получим:

$$\overline{OG} - \overline{OH} = \begin{bmatrix} X_G - X_H \\ Y_G - Y_H \\ Z_G - Z_H \end{bmatrix} = (A)^T \begin{bmatrix} X_G^k - X_H^k \\ Y_G^k - Y_H^k \\ Z_G^k - Z_H^k \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж)

## OPTOELECTRONIC SYSTEM WILL AUTOMATICALLY REFUELING FUEL IN FLIGHT

A.M. Ageev, A.S. Bocharov, V.A. Demchyk, V.I. Konotop, D.B. Litvin, E.V. Ozerov

Proposed optoelectronic information-measuring system for automatic refueling aircraft in the air on the basis of machine vision. This system can provide ACS refueled the aircraft data on the relative position of the cone end the corners of its orientation relative to the plane refueled

Keywords: optoelectronic system, refueling aircraft in the air, machine vision

Выражение (11) представляет собой систему трех уравнений с тремя неизвестными:  $\gamma_k, \psi_k, \vartheta_k$ , так как предполагается что места установки источников излучения на конусе будут известны, поэтому  $X_G^k, Y_G^k, Z_G^k; X_H^k, Y_H^k, Z_H^k; X_I^k, Y_I^k, Z_I^k$  – известные величины, а координаты идентичных точек на фоточувствительных матрицах мы уже определили. Данную систему уравнений можно решить одним из численных методов, например методом простых итераций.

После нахождения углов ориентации конуса  $\gamma_k, \psi_k, \vartheta_k$  можно определить координаты центра окружности основания конуса относительно заправляемого самолета из выражений (7), (8), (9) подставив в них значения найденных углов.

Вычисленные значения координат и углов ориентации конуса будут использоваться в алгоритмах системы автоматического управления заправляемого самолета на режиме «Дозаправка».

Существующие в настоящее время фоточувствительные матрицы с высоким разрешением и вычислители с высоким быстродействием позволят такой системе определять координаты конуса с требуемой точностью.

### Литература

1. Gaines Mikes. Tanker-technology / Flight Int. – 1989. – 135, № 4166. – P. 50–52.
2. Gordon R. The air refueling scene / Flying safety. – 1986. – 42, № 6. – P. 9–11.
3. В. И. Мошкин, А. А. Петров, В. С. Титов, Ю. Г. Якушенко; Техническое зрение роботов; под ред. Ю. Г. Якушенко. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.: ил.