

РАЗВИТИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НАШЛЕМНЫХ СИСТЕМ ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ И ИНДИКАЦИИ

© 2012 г. В. Т. Глущенко, канд. техн. наук

Казенное предприятие специального приборостроения “Арсенал” (ЖП СПС “Арсенал”), г. Киев, Украина

E-mail: vtgl@i.ua

Технические характеристики авиационных наشلемных систем целеуказания и индикации во многом определяются параметрами размещаемого на защитном шлеме летчика так называемого “реперного узла” оптико-электронной системы позиционирования (тракера), содержащего реперные источники излучения. Рассматриваются методы расширения диапазона регистрируемых углов (диапазона углов целеуказания) и уменьшения габаритных размеров наशलемного узла оптико-электронного тракера за счет использования реперного источника излучения с управляемым вектором излучения.

Ключевые слова: наशलемные системы целеуказания и индикации, защитный шлем, система позиционирования, тракер, реперный источник излучения.

Коды OCIS: 150.0150, 150.4232, 150.6910, 230.0230, 250.0250, 280.0280.

Поступила в редакцию: 28.02.2012.

1. Системы позиционирования наशलемных систем целеуказания и индикации

1.1. Системы позиционирования, используемые при построении наशलемных систем

Перспективные самолеты и вертолеты фронтовой авиации оснащаются наशलемными системами целеуказания и индикации (НСЦИ), которые доказали свою необходимость в обеспечении оперативного эффективного управления вооружением летательного аппарата при одновременном управлении полетом. Так, перспективный самолет Eurofighter Typhoon предполагается оснастить НСЦИ “Striker” (фирмы BAЕ), самолет French Airforce Rafale оснащается НСЦИ “Gerfaut” (фирма Sagem), перспективный российский самолет (проект ПАК ФА) также предполагается оснастить новой НСЦИ, разработка которой проводится совместно с разработкой нового авиационного защитного шлема летчика (ЗШ).

Первые НСЦИ, которыми были оснащены самолеты и вертолеты, выполнялись на базе оптико-электронных систем позиционирования (тракеров). Затем, благодаря потенциа-

льной способности определять развороты ЗШ в диапазоне углов $\pm 180^\circ$, широкое распространение получили электромагнитные тракеры. В дальнейшем оптико-электронные тракеры совершенствовались и в последних разработках НСЦИ их применение расширяется. В оптических тракерах достигается большая точность в большей “зоне расположения головы”, не требуется магнитная карта кабины и тракер не чувствителен к магнитным помехам, которые возникают в кабине летательного аппарата. Кроме того, они характеризуются большой чувствительностью к малым угловым смещениям, высокой точностью и малым временем задержки [1–3].

Последние разработки НСЦИ, такие как “Archer” фирмы Denel Optronics (рис. 1), тракер которой используется фирмой BAЕ (НСЦИ “Striker”), “ТТМ-1G” фирмы Sicong Group (рис. 2), выполнены на базе оптических тракеров определения положения ЗШ. В ранее разработанной на базе электромагнитного тракера НСЦИ “Knighthelm” производится замена тракера на оптический, аналогичный установленному в последней версии НСЦИ “Striker” – современный базовый шлем фирмы BAЕ [3].

Основная трудность построения оптического тракера состоит в необходимости обеспечения

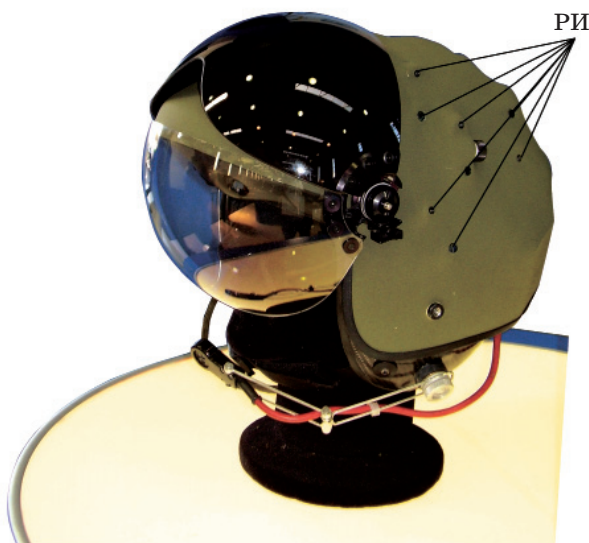


Рис. 1. Шлем системы целеуказания Archer (Denel Optronics, ЮАР). РИ – реперные излучатели.

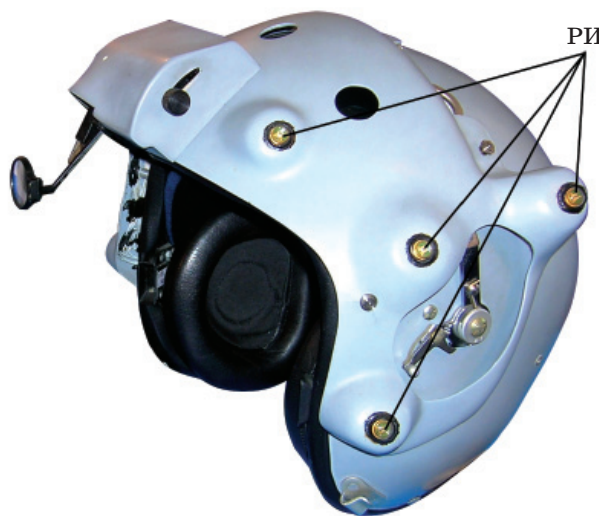


Рис. 2. Нашлемный узел НСЦ ТТМ-1G (Sicong Group, КНР). РИ – реперные излучатели.

прямой видимости между элементами оптопары “реперный источник излучения – фотодетектор”, которые размещаются на подвижном ЗШ (реперная точка – реперный источник излучения) и на неподвижном базовом блоке (блок фотодетекторов), относительно которого производится определение ориентации ЗШ. Поэтому для устранения затенения конструкцией ЗШ необходимо либо устанавливать реперные источники излучения (РИ) над абрисом ЗШ, либо увеличивать их количество. Кроме того, для обеспечения работоспособности и точности работы тракера необходимо использовать несколько РИ (в общем случае – три), разнесенных друг от друга и составляющих так называемый нашлемный реперный узел. Расстояние между реперными точками реперного узла выбирается в зависимости от требуемой точности тракера и условий размещения на ЗШ, при этом должна сохраняться работоспособность тракера (работоспособность оптопары). Таким образом, диапазон и точность углов регистрации положения защитного шлема летчика, а значит, углов возможного целеуказания, находятся в определенной зависимости от геометрических размеров реперного узла, количества таких реперных узлов (размеров нашлемного реперного блока) и расположения их относительно базового измерительного блока.

Кроме выполнения требования по обеспечению формирования сигналов целеуказания

с необходимой точностью в заданном диапазоне, основным требованием к НСЦИ является ее соответствие эргономическим требованиям – соответствие физиологическим возможностям летчика, отсутствие ограничений его возможностей по осуществлению операций управления полетом и управления вооружением самолета (не создавать дополнительную нагрузку на летчика). Это условие предусматривает, что нашлемный реперный узел тракера должен иметь минимальные массу и габариты, т. е. минимальный размер зоны расположения реперных излучателей на поверхности ЗШ.

Разработки оптических тракеров направлены на достижение компромисса между размерами нашлемного реперного узла и диапазоном и точностью углов целеуказания.

1.2. Типовая схема оптико-электронного тракера

В качестве примера типового оптико-электронного тракера НСЦИ, построенного с применением минимального количества реперных точек – РИ, может быть рассмотрена схема построения тракера, использованного в нашлемной системе целеуказания “Сура” (модификация системы “Щ-ЗУМ”) разработки КП СПС “Арсенал” (Украина), из состава оборудования самолетов типа Су-27, Су-30, МиГ-29. В данной системе нашлемный блок НВИ-7 выпол-

нен в виде монолитной конструктивной сборки визирно-индикаторного и реперного узлов, что обеспечивает высокую точность взаимного расположения их систем координат. Базовый оптико-локационный измерительный блок (блок фотодетекторов), определяющий углы направления на реперные точки нашлемного узла, размещают на визирной головке индикатора на лобовом стекле, что обеспечивает необходимую точность привязки координат тракера к системе координат прицельной системы самолета [1, 4, 5].

Размещение реперного узла нашлемного блока НВИ-7 на защитном шлеме ЗШ-7 летчика представлено на рис. 3. Геометрическая схе-



Рис. 3. Узел НСЦ “Сура” (КП СПС “Арсенал”, Украина). РИ – реперные излучатели.

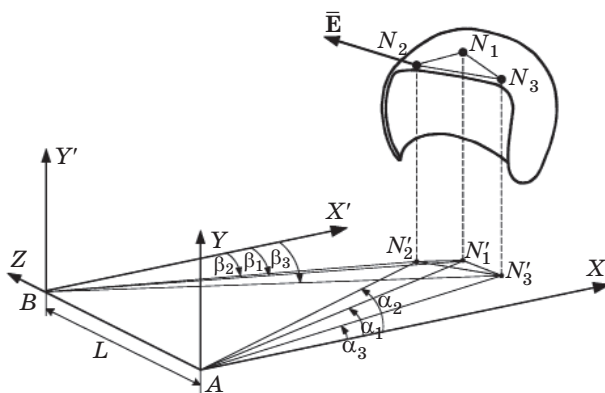


Рис. 4. Схема определения параметров плоскости реперных точек. Углы-пеленги α_i и β_i – измеряются из точек A и B , разнесенных на расстояние L , на проекции точек N_i на плоскость XAZ (точки N'_i).

ма оптико-электронного тракера такой НСЦИ содержит размещаемые на защитном шлеме три РИ – реперные точки N_i (составляющие реперный узел), а оптико-локационный измерительный блок содержит два сканирующих узла фотодетекторов, разнесенные на расстояние L и измеряющие углы-пеленги α_i, β_i на проекции точек N_i на плоскость XAZ . Используя полученные данные, а также информацию о взаимном расположении РИ, определяют данные пространственной ориентации вектора нормали \vec{E} к плоскости расположения РИ (рис. 4).

Так как конструкцией нашлемного блока задаются параметры связи вектора нормали \vec{E} с пространственной ориентацией оптической оси нашлемного оптического визира, то определяется и ориентация линии визирования летчика при совмещении прицельной метки с целью.

В процессе эксплуатации оптический тракер с данным реперным узлом обеспечивает необходимую связь между системами координат нашлемного индикатора и прицельной системы ЛА и, соответственно, углы целеуказания в диапазоне $\pm 60^\circ$ по азимуту и $+60^\circ \dots -15^\circ$ по углу места с точностью 3 мрад. Этого достаточно для целеуказания летчиком управляемым средствам вооружения самолета-истребителя (например, управляемым ракетами с головками самонаведения, обзорно-прицельным станциям). В данной схеме размеры реперного узла (фронтальная площадь примерно 49 см^2) превосходят размеры оптических компонентов визирно-индикаторного узла и определяют массогабаритные характеристики нашлемного блока.

При совершенствовании оптико-электронного тракера необходимо решить задачу оптимизации соотношения двух взаимоисключающих факторов – увеличение диапазона регистрируемых углов разворота ЗШ с одновременным уменьшением размеров реперного узла.

2. Основные методы увеличения диапазона регистрируемых углов

В современных оптических тракерах НСЦИ увеличение диапазона измерения углов в основном проводится путем совершенствования алгоритма обработки информации о координатах РИ, а также за счет усложнения конструкции нашлемного блока, в первую очередь – за счет увеличения количества реперных точек, т. е. увеличения размеров реперного узла.

2.1. Алгоритмический способ расширения диапазона углов целеуказания

Алгоритмический способ расширения диапазона углов целеуказания, так называемый метод “виртуальной реперной точки”, заключается в следующем. При затенении конструкцией ЗШ одного из РИ в поле зрения соответствующего фотодетектора измерительного блока (т. е. при потере одного из пеленгов на одного из РИ) его координаты вычисляются на основании значения другого пеленга на этот РИ, а также координат двух оставшихся РИ (определенных по значениям измеренных пеленгов) и данных о геометрических параметрах реперного узла, заложенных в конструкции (взаимного расположения РИ).

Так, при отсутствии пеленга β_2 на РИ N_2 (рис. 4) координаты точки N_2 можно определить из следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2 &= R_{12}^2, \\ (X_3 - X_2)^2 + (Y_3 - Y_2)^2 + (Z_3 - Z_2)^2 &= R_{23}^2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} X_i &= L / (\operatorname{tg} \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i), \\ Z_i &= X_i \operatorname{tg} \alpha_i, \quad i = 1, 2, 3; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$(Y_3 - Y_1)^2 = R_{13}^2 - (X_3 - X_1)^2 - (Z_3 - Z_1)^2, \quad (3)$$

где R – расстояния между РИ, номера которых указаны в нижних индексах, а (X_1, Y_1, Z_1) и (X_3, Y_3, Z_3) – координаты пеленгуемых реперов N_1 и N_3 соответственно.

Метод позволяет увеличить диапазон регистрируемых углов разворота ЗШ без увеличения геометрических размеров нашлемного реперного узла и, следовательно, нашлемного блока.

Применение данного метода в НСЦ “Сура” позволило увеличить диапазон углов целеуказания до $\pm 75^\circ$ по азимуту.

2.2. Увеличение количества реперных излучателей

Увеличение количества РИ обеспечивает соответственное увеличение количества троек реперных точек излучателей (элементарных реперных узлов), размещаемых по поверхности ЗШ в плоскостях под различными углами друг к другу. Данный метод позволяет увеличить диапазон углов регистрации положения ЗШ, который теоретически составляет сумму

диапазонов углов, обеспечиваемых отдельными простейшими реперными узлами. Но при этом также увеличивается размер нашлемного блока, что, естественно, усложняет эксплуатацию НСЦИ.

Такой метод использован при построении оптико-электронных тракеров различными фирмами. Наиболее типичные из них разработаны фирмами Denel Optronics (ЮАР) – подразделение фирмы Carl Zeiss (рис. 1), а также Sicong group (КНР) (рис. 2).

Оптический тракер НСЦИ “ТТМ-1G” (Sicong group) содержит 8 РИ, по 4 на каждой боковой стороне нашлемного легкоъемного блока (рис. 2), что, по заявлению фирмы, позволяет увеличить диапазон углов регистрации разворотов ЗШ до $\pm 125^\circ$ по азимуту. При этом существенно увеличивается размер нашлемного блока, например, по сравнению с блоком НСЦИ “Сура”, выполненного на базе одного реперного узла (3 РИ) (рис. 3).

Оптический тракер НСЦИ “Archer” (Denel Optronics) выполнен с размещением РИ (их количество более 20) на затылочной и височных частях поверхности защитного шлема (рис. 1), т. е. здесь реперный и визирно-индикаторный узлы – отдельные конструктивные единицы, которые крепятся к конструкции ЗШ. При этом диапазон углов регистрации разворотов ЗШ, как заявляет фирма, достигает $\pm 180^\circ$ по азимуту. В данном тракере максимальное увеличение диапазона регистрируемых углов разворота достигается за счет существенного увеличения размеров нашлемного блока, при этом уже не идет речь о его легкоъемности и возможности установки на произвольный стандартный ЗШ. В этом случае необходимо создание специализированного ЗШ. При этом увеличение размера реперного узла вплоть до размера всей наружной поверхности ЗШ объективно усложняет эксплуатационные процедуры установки и обеспечения эксплуатационной стабильности взаимного размещения большого количества реперных узлов, разнесенных по поверхности ЗШ, и необходимой точности их взаимной ориентации между каждой тройкой РИ (реперных узлов) и оптической осью нашлемного индикатора.

Увеличение диапазона регистрации углов за счет увеличения количества РИ (реперных узлов) предусматривает увеличение размера нашлемного реперного блока, что, в свою очередь, вступает в противоречие с требованием

минимальной нагрузки на голову летчика. Таким образом, можно сделать вывод, что такой подход не является оптимальным.

3. Оптический тракер с использованием реперного излучателя с управляемым вектором излучения

Повышение информативных возможностей размещаемой на шлеме реперной точки РИ, когда в дополнение к признаку “координата ее пространственного размещения”, используемому в существующих тракерах, вводится дополнительный признак – “ориентация вектора излучения относительно центральной оси апертуры излучения”, позволяет определить данные пространственной ориентации центральной оси апертуры излучения, т. е. геометрической оси РИ. Это позволит обеспечить заданный диапазон углов разворота ЗШ при использовании меньшего количества РИ, чем принято в существующих схемах построения тракеров (вплоть до использования только одного РИ), т. е. уменьшить размер нашлемного узла оптического тракера вплоть до размеров оптико-индикационного устройства, существенно уменьшить его габариты и вес, уменьшить нагрузку на летчика.

3.1. Геометрическая схема построения

Геометрическая схема определения углов разворота объекта – ориентации вектора \vec{E} , который соответствует направлению геометрической оси реперного источника излучения, скоординированной с направлением ориентации ЗШ, приведена на рис. 5. Данная схема

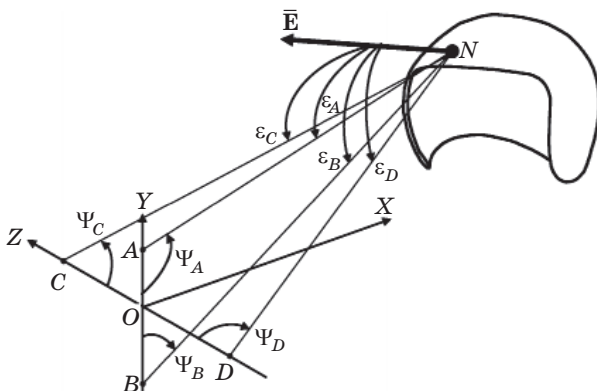


Рис. 5. Схема определения параметров ориентации вектора \vec{E} .

соответствует компоновке тракера НСЦ типа Ш-ЗУМ (НСЦ Сура), где РИ расположены на лобовой части шлема, рядом с оптическим компонентом вывода изображения индикации летчику, а фотодетекторы располагаются в области размещения индикатора на лобовом стекле.

В данной геометрической схеме измеряются углы ϵ_j между ориентацией вектора \vec{E} излучения относительно геометрической оси апертуры РИ и направлениями на детекторы излучения (ДИ), установленные в точках A, B, C, D на осях Y, Z системы координат оптико-локационного измерительного блока, а также углы ψ_j , под которыми засвечиваются соответствующие ДИ.

Направляющие косинусы $\cos\theta, \cos\gamma$ вектора \vec{E} относительно осей Y, Z определяются из соотношений скалярных произведений соответствующих векторов. Так, направляющий косинус $\cos\theta$ определяется из соотношения скалярных произведений векторов \vec{E}, \vec{AN} и \vec{E}, \vec{BN} –

$$\vec{E} \cdot \vec{AN} = |\vec{E}| \cdot |\vec{AN}| \cos\epsilon_A,$$

$$\vec{E} \cdot \vec{BN} = |\vec{E}| \cdot |\vec{BN}| \cos\epsilon_B.$$

Из этих выражений получим

$$\begin{aligned} \cos\theta &= [\sin\Psi_B / \sin(\Psi_A + \Psi_B)] \cos\epsilon_A - \\ &- [\sin\Psi_A / \sin(\Psi_A + \Psi_B)] \cos\epsilon_B; \end{aligned} \quad (4)$$

аналогично определяется направляющий косинус

$$\begin{aligned} \cos\gamma &= [\sin\Psi_D / \sin(\Psi_C + \Psi_D)] \cos\epsilon_C - \\ &- [\sin\Psi_C / \sin(\Psi_C + \Psi_D)] \cos\epsilon_D. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, данное техническое решение построения оптического тракера на основе реперного источника излучения с управляемым вектором излучения относительно его геометрической оси показывает возможность определения ориентации ЗШ с помощью одного реперного источника сканирующего излучения, размещаемого на ЗШ.

Вариант геометрической схемы компоновки оптического тракера в кабине самолета приведен на рис. 6. В данной схеме показано, что при использовании двух РИ с управляемым вектором излучения и апертурой излучения $\pm 90^\circ$ обеспечивается разворот ЗШ на углы до $\pm 90^\circ$ с одновременным увеличением линейной зоны возможных изменений положения головы лет-

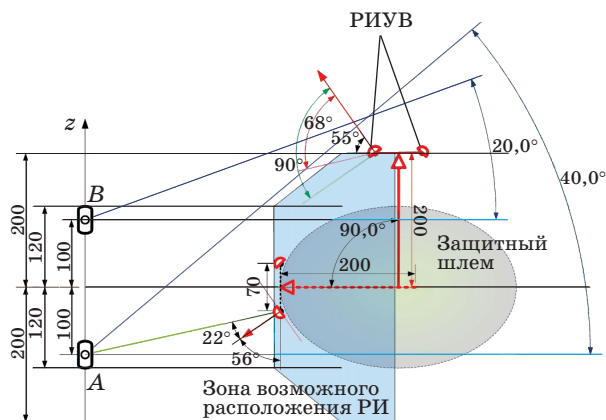


Рис. 6. Геометрическая схема разворота ЗШ.

чика. При этом габариты нашлемного узла существенно уменьшаются по сравнению с существующими нашлемными узлами.

3.2. Вариант построения источника реперного излучения с управляемым вектором направления излучения

Реперный источник с управляемым вектором направления излучения (РИУВ), размещаемый на нашлемном узле, должен обладать малыми габаритами и весом, при этом также должно выполняться условие безопасного экстренного покидания летчиком кабины самолета.

В одном из вариантов построения РИУВ (рис. 7) источник излучения 1 (излучающий диод) подсвечивает малогабаритный жидкокристаллический (ЖК) индикатор 2, расположенный на фокальной поверхности широкоугольного объектива 4, а коллектив 3 служит для сопряжения апертур излучателя и объектива. Управляя малогабаритным ЖК индикатором, изменяют в пространстве направление излучения. В момент регистрации излучения

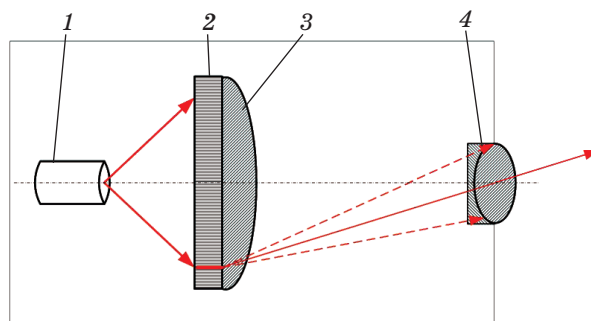


Рис. 7. Блок-схема построения реперного излучателя. 1 – узел подсветки, 2 – ЖК индикатор, 3 – коллектив, 4 – широкоугольный объектив.

каждым детектором происходит измерение углов ε_j .

Для обеспечения углов ε_j до $\pm 90^\circ$ используется особо широкоугольный объектив.

Конструкция блока фотодетекторов, размещаемого впереди летчика на корпусе оптического коллиматорного индикатора (индикатора на лобовом стекле) содержит не менее 4 фотодетекторов, задача которых – формирование сигналов – углов ψ_j , позволяющих определить угловое положение РИУВ.

4. Выводы

Создание реперного источника излучения с управляемым вектором излучения, а также соответствующего блока фотодетекторов позволит выполнить оптимальную компоновку узлов тракера на шлеме летчика и всей НСЦИ на борту самолета, при этом

- уменьшить размер нашлемного реперного узла, вплоть до размеров оптико-индикационной схемы;
- снизить суммарную массу нашлемных элементов НСЦИ.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Глущенко В.Т., Борисюк А.А., Михайлик А.К. Устройство и применение нашлемных систем целеуказания. М.: ЦНИИ информации, 1986. 160 с.
2. Alexander A. Cameron, Simon Trythall and Anthony M. Barton. Helmet Trackers – The Future // Proc. SPIE. 1995. V. 2465. P. 281–295.
3. Andrew Healey. Head up on HUDs and helmets // Defence Helicopter. December 2005/January 2006. P. 29–33.
4. Борисюк А.А., Глущенко В.Т., Забродский А.А. Нашлемный блок нашлемной системы целеуказания. Патент России № 52552. 2001.
5. Глущенко В.Т., Борисюк А.А. Система целеуказания. Патент России № 2216705. 2000.