
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.777.2
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-9-741-749

УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ СОГЛАСОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ КАНАЛОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

С. Н. СКЛЯРОВ

*Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), 105064, Москва, Россия
Красногорский завод им. С. А. Зверева, 143400, Красногорск, Россия
E-mail: s.sklyarov@zenit-kmz.ru*

Рассматриваются схемы устройств проверки согласования оптических осей каналов оптико-электронного комплекса, используемых в цеховых условиях, в составе контрольно-поверочной аппаратуры и как встроенные системы контроля. Приведена математическая модель простейшего устройства проверки согласования осей, изложены возможные причины возникновения погрешностей и методы их исключения. Приведены рекомендации по реализации конструкций устройств.

Ключевые слова: *согласование каналов, оптико-электронный комплекс, инвариантность, ромб-призма, коллиматор*

Введение. Современные оптико-электронные комплексы (ОЭК) представляют собой, как правило, многоканальные функционально связанные системы. Многие ОЭК [1] содержат два канала технического зрения, канал лазерного дальномера и оптико-электронный канал управления объектом. Согласование всех каналов оптико-электронного комплекса определяет эффективность его функционирования.

Для проверки согласования каналов ОЭК как на стадии производства, так и в ходе эксплуатации на разных этапах технического обслуживания используются соответствующие контрольные средства, которые можно подразделить на три группы — цеховое оборудование, контрольно-поверочная аппаратура и встроенные системы контроля. Условия эксплуатации и требования к устройствам проверки согласования каналов ОЭК, учитывая разные спектральные диапазоны и принципы работы отдельных каналов, весьма разнородны и сложны.

В настоящей статье представлены некоторые устройства проверки согласования оптических осей каналов оптико-электронных комплексов и методы повышения их точности.

Устройства проверки согласования, используемые в цеховых условиях. Рассмотрим устройства, относящиеся к первой группе — цеховому оборудованию: это максимально простые по конструкции устройства проверки согласования, которые эксплуатируются в нормальных климатических условиях и к которым не предъявляются строгие требования по транспортировке, скорости развертывания и массогабаритным параметрам. Назначение этих устройств — обеспечение технологического процесса сборки и юстировки широкой номенклатуры изделий. К таким устройствам относится, например, длиннофокусная линза, при использовании которой может быть проверено согласование телевизионного (ТВ) канала и излучающего канала дальномера или ТВ-канала и канал пеленгатора лампы-ответчика

управляемого объекта. В первом случае в фокальной плоскости длиннофокусной линзы устанавливается визуализатор лазерного излучения (например, фотобумага), подается импульс излучения лазерного канала и по его телевизионному изображению наблюдается визуализированное пятно лазерного излучения (прожиг на фотобумаге). Величина рассогласования каналов определяется как расстояние между осью визирования ТВ-канала и центром визуализированного пятна и может быть пересчитана в угловую меру с учетом фокусного расстояния объектива ТВ-канала. Во втором случае в фокальную плоскость длиннофокусной линзы устанавливается точечный источник излучения, имитирующий лампу-ответчик и одновременно наблюдаемый ТВ-каналом и пеленгатором. Оптико-электронный комплекс устанавливается таким образом, чтобы ось визирования телевизионного канала совпадала с центром наблюдаемого имитатора лампы-ответчика, при этом величина рассогласования определяется по сигналам пеленгатора.

Этот способ отличается простотой и отсутствием сложного оборудования, однако при его использовании необходимо учитывать возможные источники ошибок, влияющих на точность согласования. Первой из наиболее значимых является ошибка, связанная с неточностью установки визуализатора (или имитатора) в фокальную плоскость линзы и называемая ошибкой расфокусировки; вторая по значимости ошибка связана со сферической aberrацией линзы, а третья — со сферохроматической aberrацией.

Рассмотрим указанные ошибки на примере наиболее простой схемы — устройства проверки согласования на основе длиннофокусной линзы с минимальной сферической aberrацией (рис. 1). Проверке подлежат два канала ОЭК, расстояния $O_1—O'_1$ и $O_2—O'_2$ от оптических осей которых до оси $O_0—O'_0$ устройства выверки равны a_1 и a_2 , а рабочие длины волн каналов соответственно λ_1, λ_2 . Поскольку перечисленные ошибки носят систематический и независимый характер, то целесообразно рассматривать их отдельно:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\Delta} + \varepsilon_{\Delta S'} + \varepsilon_{\Delta S_{xp}}, \quad (1)$$

где ε_{Δ} , $\varepsilon_{\Delta S'}$, $\varepsilon_{\Delta S_{xp}}$ — ошибки согласования, вызванные расфокусировкой, сферической aberrацией и сферохроматической aberrацией соответственно.

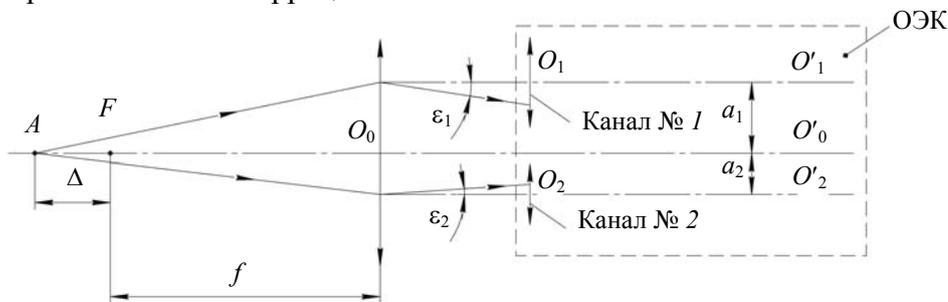


Рис. 1

Ошибка расфокусировки характеризуется формулой

$$\varepsilon_{\Delta} = \varepsilon_{1\Delta} - \varepsilon_{2\Delta}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{1\Delta}$ и $\varepsilon_{2\Delta}$ — ошибки согласования, вносимые каждым каналом в отдельности и определяемые как

$$\varepsilon_{i\Delta} = a_i \Delta / [f(f + \Delta)], \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

где a_i — межосевое расстояние i -го канала, Δ — величина расфокусировки, f — фокусное расстояние объектива устройства.

Из формулы (3) следует, что ошибка $\varepsilon_{i\Delta}$ будет отсутствовать при $\Delta=0$ или при соосном расположении зрачков каналов ($a_i = a_{i+1} = \dots = a_k$).

Рассмотрим теперь влияние сферической aberrации и сферохроматизма. Продольная сферическая aberrация линзы при малых относительных отверстиях пропорциональна квадрату высоты луча на выходном зрачке.

Приняв за величину расфокусировки Δ продольную сферическую aberrацию $\Delta S'$, а за расстояние a_i — высоту h_i главного луча i -го канала в плоскости зрачка объектива устройства, можно записать, что величина рассогласования, вносимая устройством из-за сферической aberrации, будет определяться по формуле

$$\varepsilon_{\Delta S'} = \varepsilon_{1\Delta S'} - \varepsilon_{2\Delta S'}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{1\Delta S'}$ и $\varepsilon_{2\Delta S'}$ — ошибки согласования, вносимые каждым каналом в отдельности и определяемые как

$$\varepsilon_{i\Delta S'} = h_i \Delta S'_i / [f(f + \Delta S'_i)], \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

где $\Delta S'_i$ — величина продольной сферической aberrации, соответствующая высоте h_i .

Для объективов с малой сферической aberrацией ее значением в знаменателе выражения (5) можно пренебречь, тогда

$$\varepsilon_{i\Delta S'} = h_i \Delta S'_i / f^2.$$

Таким образом, формула (4) примет вид

$$\varepsilon_{\Delta S'} = (h_1 \Delta S'_1 - h_2 \Delta S'_2) / f^2.$$

Учитывая, что сферическая aberrация симметрична относительно оптической оси, величина $\varepsilon_{\Delta S'}$ может равняться нулю только в одном из трех случаев:

- 1) $\Delta S'_1 = \Delta S'_{i+1} = \dots = \Delta S'_k = 0$;
- 2) $h_i = h_{i+1} = \dots = h_k = 0$;
- 3) $h_i \Delta S'_i = h_{i+1} \Delta S'_{i+1} = \dots = h_k \Delta S'_k$.

Несложно показать, что сферохроматизм, присущий данному устройству, описывается аналогичными зависимостями и не приводит к ошибкам:

— в случае ахроматизации оптической системы устройства проверки для рабочих диапазонов каналов;

— если центры зрачков каналов совпадают с центром зрачка объектива устройства:

$$\varepsilon_{\Delta S_{xp'}} = (h_1 \Delta S_{1xp'} - h_2 \Delta S_{2xp'}) / f^2,$$

где $\Delta S_{1xp'}$, $\Delta S_{2xp'}$ — величина хроматизма положения 1-го и 2-го каналов на длинах волн λ_1 , λ_2 и соответствующая высотам h_1 и h_2 .

Перейдем к рассмотрению способов, которые позволят уменьшить или устранить влияние основных источников ошибок на точность согласования. Известны коллиматоры [2], в которых вместо линзы используются сферические зеркала. Это позволяет исключить влияние хроматизма, но не освобождает от влияния сферической aberrации и дефокусировки. Для устранения сферической aberrации можно применить параболическое зеркало, что сопряжено, однако, с технологическими сложностями его изготовления и юстировки.

Влияние положения зрачков на погрешности нерасстраиваемых оптических угломеров, возникающие вследствие терморасфокусировки, исследовано в работе [3], где также показано, что терморасфокусировка не будет оказывать влияние на погрешность угломера, если его зрачок и зрачок объектива устройства проверки согласования осей совпадают.

Таким образом устройство, отвечающее требованию совмещения центров зрачков каналов и объектива устройства, будет свободно от упомянутых ошибок. На рис. 2 приведена принципиальная схема такого устройства, состоящего из длиннофокусной линзы 1, призмного блока 2 и блока клиньев 3. Линза 1 с минимальной сферической aberrацией служит для формирования изображения бесконечно удаленного предмета. Блок 2 выполнен в виде склеенной призмы, состоящей из ромб-призмы и прямоугольной призмы, на гипотенузную грань которой нанесено светоделительное покрытие. Призмный блок служит для совмещения центров зрачков каналов № 1 и 2 с центром входного зрачка линзы 1. Блок 3 состоит из двух клиньев с одинаковым углом при вершине, которые могут вращаться вокруг оптической оси

как совместно, так и независимо друг от друга. Блок клиньев предназначен для компенсации ошибок изготовления призмного блока, при этом клинья посредством разворота должны быть установлены таким образом, чтобы луч, выходящий из призмного блока в направлении канала № 1, и луч, выходящий из призмного блока в направлении канала № 2 и проходящий через блок клиньев 3, были параллельны. Устройство может работать в двух режимах: в режиме согласования приемных каналов (например, телевизионного и пеленгационного), а также в режиме приемного и излучающего каналов (телевизионного и лазерного). Для этого в фокальной плоскости линзы устанавливается либо излучатель, либо анализатор излучения. Описанное устройство, вследствие ограниченной спектральной полосы пропускания материала, пригодно для согласования каналов, работающих в первом окне прозрачности атмосферы, что не позволяет произвести проверку согласования всех каналов.

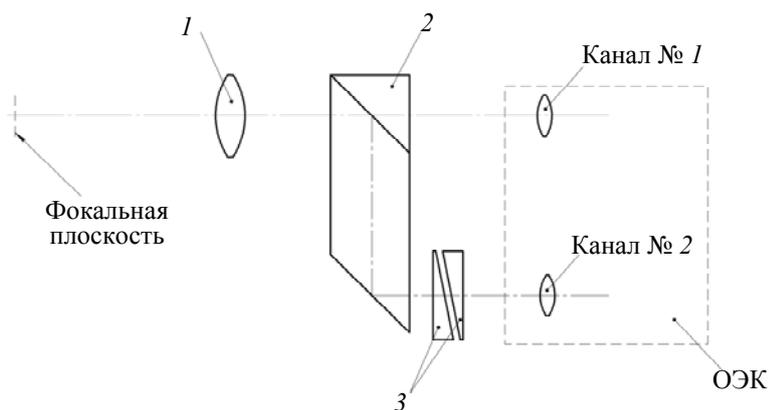


Рис. 2

Устройства проверки согласования, используемые в КПА. Требования, предъявляемые к устройствам, используемым в составе контрольно-поверочной аппаратуры, отличаются от требований к цеховым устройствам. Такие устройства должны быть компактными, иметь возможность быстрого развертывания и работы в метеорологических условиях эксплуатации проверяемых ОЭК.

Так, для использования в составе КПА обзорно-прицельной станции ОПС-28 был создан коллиматор проверки согласования осей каналов, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах, его оптическая схема представлена на рис. 3. Зеркальный коллиматор без центрального экранирования включает в себя фокальный узел 1, сферическое зеркало 2 и светоделительную пластину 3, выполняющую также функцию защитного стекла. На внутренней стороне светоделительной пластины, выполненной из селенида цинка, нанесено многослойное диэлектрическое покрытие. Для проверки согласования осей телевизионного и тепловизионного (ТПВ) каналов с коллиматором дополнительно используется призмное устройство 4, устанавливаемое непосредственно на поверяемый ОЭК. Основным элементом блока 4 является ромб-призма, которая инвариантна к угловым наклонам в параллельных пучках, что позволяет существенно снизить требования к ее установке. При проектировании коллиматора необходимо учитывать недостаток его оптической схемы. Проблема заключается в светоделительной пластине, а точнее, в неизбежном вторичном изображении, формируемом лучами вследствие остаточного отражения от внешней стороны пластины. Вторичное изображение представляет собой раздвоенный расфокусированный тест-объект. Поскольку полное исключение этого недостатка в данной схеме невозможно, необходимо снижать коэффициент остаточного отражения от пластины до уровня, пока сигнал от вторичного изображения на выходе коллиматора не будет соизмерим с уровнем шумов поверяемого канала. Кроме того, достаточно сложной технологической задачей является изготовление ромб-призмы большой длины. Помимо обеспечения необходимого уровня качества оптических поверхностей

призмы, следует учитывать также влияние геометрических и оптических параметров стекла, которые при значительной длине хода луча в материале имеют едва ли не решающее значение.

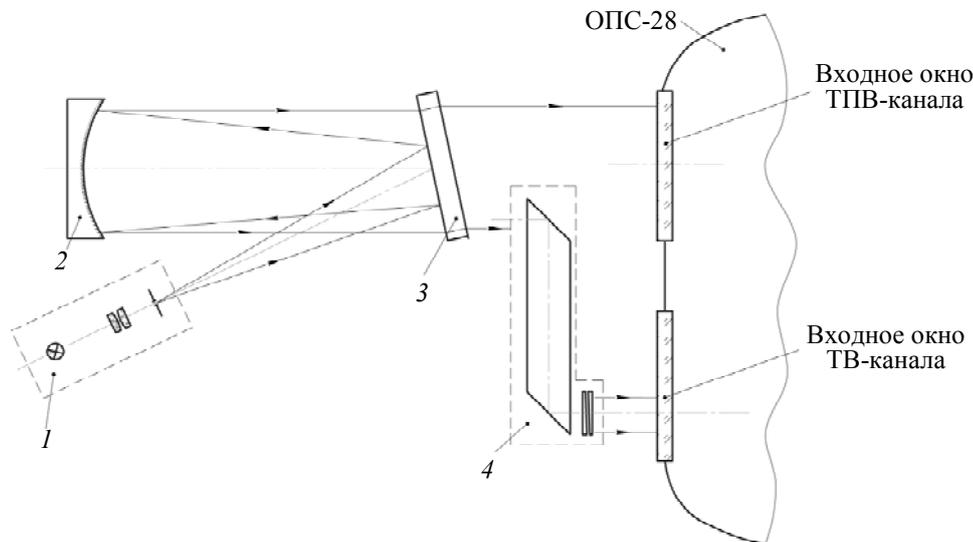


Рис. 3

В работе [4] описывается коллиматор из состава КПА тепловизионного прицела 1ПН86-ВИ „Мулат-115“, который используется, в частности, для проверки согласования тепловизионного и визирного каналов. Коллиматор, представляющий собой собственно зеркальный коллиматор и призмный блок, содержит фокальный узел, параболическое зеркало и плоское зеркало с отверстием. Коллиматор в широком спектральном диапазоне формирует бесконечно удаленное изображение тест-объекта, находящегося в фокальном узле. Призмный блок, состоящий из ромб-призмы и блока клиньев, выделяет часть пучка для поверки визирного канала, закрывая при этом часть зрачка для поверки ТПВ-канала. К достоинствам данной схемы следует отнести отсутствие сферической аберрации и надежность призмного блока. Однако применение призмного блока такой конструкции для поверки каналов, расположенных на значительном расстоянии, представляется затруднительным. В этом случае требуется длинная ромб-призма с небольшим сечением. Технологически изготовить такую призму крайне сложно, несмотря на то, что угловые ошибки можно скомпенсировать блоком клиньев. Сложность заключается как в подборе материала оптических элементов, которые должны обладать высокой однородностью, бесшвильностью и двулучепреломлением, так и в обработке отражающих граней, к которым предъявляются высокие требования по общей и местной ошибке. Несоблюдение этих требований приводит к снижению разрешающей способности призмного блока, что, в свою очередь, может привести к ошибке оператора при наведении на тест-объект. Кроме того, использование в зеркальном коллиматоре параболического зеркала существенно усложняет процесс изготовления и юстировки коллиматора.

С учетом указанных недостатков был разработан коллиматор согласования осей (рис. 4), состоящий из фокального узла 1, сферического зеркала 2, плоского зеркала 3 с отверстием, зеркального ромба 4, блока клиньев 5 и защитного стекла 6. Применение зеркального ромба вместо призмного позволяет использовать отражающие поверхности с увеличенными в два раза местными ошибками [5] при прочих равных условиях и отсутствии требований к однородности материала. Изготовление зеркального ромба из плавленого кварца или ситалла, обладающих высокой стабильностью [6, 7], в совокупности со схемой его крепления в конструкции на карданных шарнирах [8], исключает возможность деформации ромба вследствие

температурных воздействий на корпус устройства проверки согласования, позволяет обеспечить высокую стабильность параметров данного узла в широком диапазоне температур.

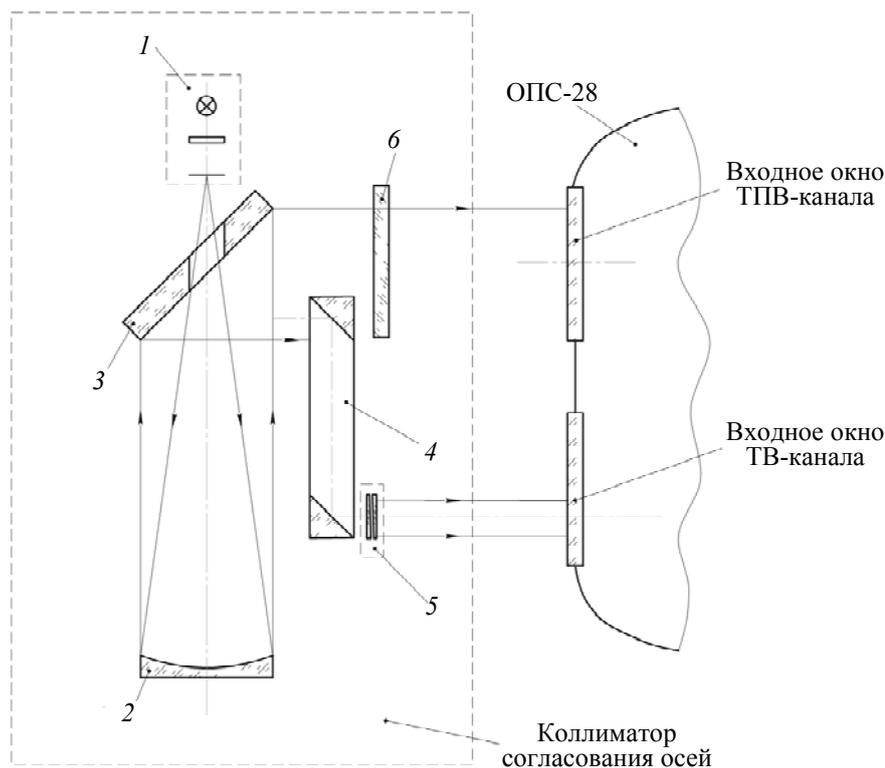


Рис. 4

Встроенные устройства проверки согласования. К устройствам проверки согласования осей, которые используются непосредственно в составе оптико-электронных комплексов, предъявляются самые жесткие требования: они должны обеспечивать согласование каналов с заданной точностью при всех условиях работы ОЭК. Такие устройства, как правило, созданы на основе встроенного коллиматора (или канала, выполняющего данную функцию) и зеркально-призменных систем, посредством которых излучение заводится в поверяемые каналы (рис. 5). Встроенный коллиматор может быть как опорным (рис. 5, а), так и передающим направление от опорного канала (рис. 5, б). В этом случае перед коллиматором обычно устанавливается клиновой компенсатор, который позволяет согласовать его с опорным каналом. При этом широко используются схемы, где коллиматор находится непосредственно в корпусе оптико-электронного комплекса, а зеркально-призменные системы устанавливаются перед ним на период выполнения проверки [9, 10]. Наиболее распространенными являются ромб-призма БС-0 и уголкового отражателя в виде призмы БкР-180, обладающие высокой стабильностью, что позволяет создать надежные и относительно несложные устройства проверки согласования. При этом погрешности их изготовления могут быть компенсированы клиньями [11, 12]. При расширении спектрального диапазона поверяемых каналов конструкция устройств усложняется. В этом случае, как правило, применяются зеркальные объективы, зеркальные ромбы и зеркальные уголкового отражатели.

Наиболее интересным представляется конструктивное решение встроенных устройств проверки согласования, созданных по методу „горячей точки“. Этот метод основан на том, что согласование ведется по энергетическому пятну излучающего лазерного канала оптико-электронного комплекса, которое формируется на люминесцирующем элементе, находящемся в фокальной плоскости зеркального коллиматора. Данный метод реализован, например, в устройстве проверки согласования каналов для оптико-электронной станции TADS американского вертолета АН-64А „Апач“ [13, 14]. Устройство выполнено в виде модуля 1, который

состоит из зеркального коллиматора 2 с керамическим элементом 3 в фокальной плоскости и зеркального ромба 4, содержащего светоделительную пластину 5, зеркало 6, германиевое окно 7, блок клиньев 8 и ослабляющий фильтр 9 (рис. 6).

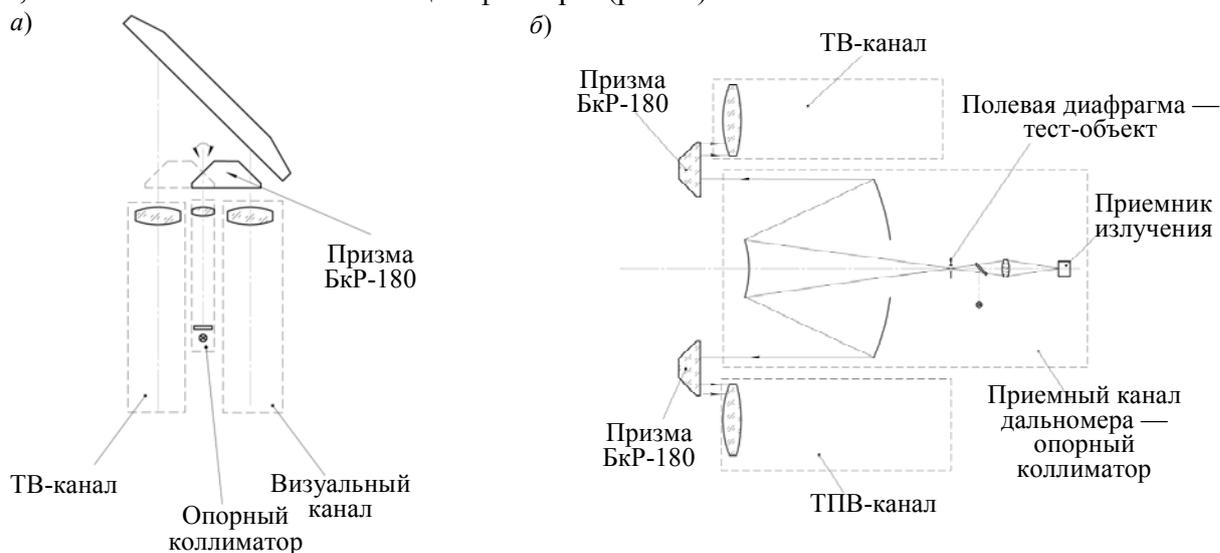


Рис. 5

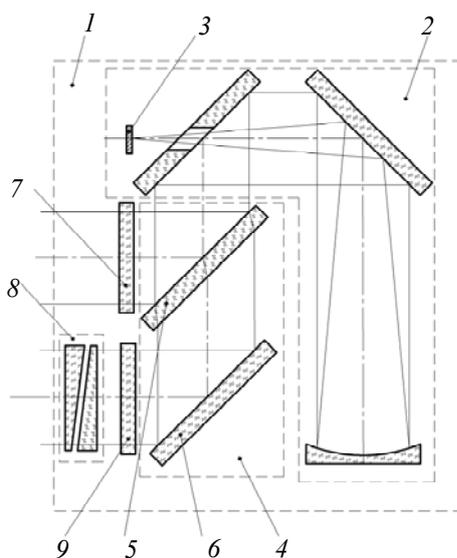


Рис. 6

Согласование каналов выполняется следующим образом: излучение, генерируемое дальномером на длине волны 1,06 мкм, попадает в устройство проверки согласования через блок клиньев 8 и ослабляющий фильтр 9, отражается от зеркала 6, проходит через светоделительную пластину 5 и фокусируется зеркальным коллиматором 2 на керамическом элементе 3, где происходит диффузное отражение излучения. Керамический элемент при кратковременном облучении локально нагревается, и тепловое излучение от него посредством коллиматора 2, отражаясь от светоделительной пластины 5, через германиевое окно 6 попадает в ТПВ-канал. Ослабляющий фильтр 9 обеспечивает уровень мощности лазерного излучения, необходимый и достаточный для работы приемной аппаратуры ТВ-канала и обеспечения долговечности керамического элемента. В качестве материала мишени — керамического элемента — выбран минерал муллит. Этот материал обладает высокой термической прочностью и малой теплопроводностью, что позволяет выдерживать более 600 тыс. циклов облучения и обеспечить достаточный уровень сигнала для ТПВ-канала вследствие малого рассеяния энергии.

В рассмотренной схеме устройства отсутствует материальная марка, задающая направление, что позволяет использовать его при наличии вибраций и ошибки взаимного положения оптико-электронного комплекса и устройства проверки согласования. Это обусловлено тем, что влияние вибрации не сказывается на ошибке согласования вследствие краткости импульса лазерного дальномера, при этом сама схема аналогична схеме зеркально-линзового отражателя [15], что и определяет ее инвариантность к ошибке взаимного положения ОЭК и устройства проверки согласования.

Основными источниками ошибок в рассматриваемом устройстве (см. рис. 6) являются зеркальный ромб и характеристики лазерного излучателя. Ошибки возникают вследствие ошибки взаимного углового положения зеркала 6 и светоделительной пластины 5, при этом ошибка удваивается на выходе ромба. Для повышения стабильности их взаимного углового положения с учетом температурных и механических условий эксплуатации устройства его создателями была разработана полукинематическая конструкция с использованием инвара.

Ошибки, связанные с характеристиками излучателя, заключаются в том, что расходимость лазерного излучения, как правило, в несколько раз превышает требуемую точность углового согласования прицельных каналов, и, кроме того, имеется некоторая флуктуация положения центра энергетического пятна многомодового излучения лазера от импульса к импульсу. Следовательно, необходимо учитывать, что методом „горячей точки“ можно произвести строгое согласование телевизионного или тепловизионного каналов с излучающим каналом дальномера, а точность согласования ТВ- и ТПВ-каналов будет определяться параметрами лазерного излучателя.

Заключение. Среди рассмотренных в статье устройств проверки согласования оптических осей отдельных каналов оптико-электронных комплексов следует особо выделить встроенные устройства, в которых предполагается наличие средств компенсации возможного рассогласования каналов. Такие устройства применяются в случаях, когда невозможно сохранить достигнутое согласование осей в пределах требуемой точности в условиях эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптико-электронные системы и лазерная техника // Энциклопедия XXI век. Оружие и технологии России. М.: Изд. дом „Технологии и оружие“, 2005. Т. 11. 720 с.
2. Пат. 2489744 РФ. Коллиматор / Г. И. Федченко, С. И. Щеглов. Оpubл. 10.08.2013.
3. Колосов М. П., Гебгарт А. Я., Карелин А. Ю. О роли положения зрачков в нерасстраиваемых оптических системах угломеров с каналом геометрического эталона // Оптик. журн. 2012. Т. 79, № 2. С. 48—53.
4. Бугаенко А. Г., Никитин Ю. П., Пантелеев Н. Л. Коллиматоры для проверки тепловизионных прицелов // Оптик журн. 2004. Т. 71, № 2. С. 32—36.
5. Погарев Г. В., Киселев Н. Г. Оптические юстировочные задачи. Л.: Машиностроение, 1989. 260 с.
6. Колосов М. П. О стабильности характеристик оптических элементов угломерных приборов // ОМП. 1992. № 4. С. 21—23.
7. Гаврюсов В. И. Размерная стабильность материалов и элементов конструкций. Л.: ЦНИИ „Румб“, 1990. 113 с.
8. Пат. 2063059 РФ. Устройство для коллинеарного переноса оптических осей / В. А. Мейтин, С. И. Ражев. Оpubл. 27.06.1996.
9. Сухопаров С. А. Пространственно-инвариантные схемы оптических приборов // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1982. Т. 25, № 11. С. 58—66.
10. Бурбаев А. М., Леонтьева А. И., Одиноких Г. А., Френкель Д. А. Применение инвариантных оптических систем в схемах контроля и юстировки ОЭП // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 11. С. 72—79.
11. Пат. 2280881 РФ. Призмный узел с компенсатором / В. Д. Даниш, С. И. Щеглов. Оpubл. 27.06.2006.

12. Пат. 2555218 РФ. Устройство для контроля параллельности оптических осей / С. Н. Скляр. Оубл. 10.07.2015.
13. Godfrey T. E., Walter M., Clark W. M. Boresighting of Airborne Laser Designator Systems. // SPIE. Proc. 1980. Vol. 0251. P. 78.
14. Pat. 4422758A USA. Boresighting of Airborne Laser Designation Systems / T. E. Godfrey, L. A. Moesser. 07.12.1983.
15. Аникст Д. А., Голубовский О. М., Петрова Г. В. и др. Оптические системы геодезических приборов. М.: Недра, 1981. 345 с.

Сведения об авторе

Сергей Николаевич Скляр — аспирант; МИИГАиК; Красногорский завод им. С. А. Зверева; зам. директора науч.-техн. центра; E-mail: s.sklyarov@zenit-kmz.ru

Рекомендована МИИГАиК

Поступила в редакцию
24.03.16 г.

Ссылка для цитирования: Скляр С. Н. Устройства проверки согласования оптических осей каналов оптико-электронных комплексов // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 9. С. 741—749.

**DEVICES FOR TESTING ALIGNMENT OF OPTICAL CHANNELS AXES
OF OPTICAL-ELECTRONIC COMPLEXES**

S. N. Sklyarov

*Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK),
105064, Москва, Россия*

*PJSC S. A. Zverev Krasnogorsky zavod, 143400, Krasnogorsk, Moscow region, Russia
E-mail: s.sklyarov@zenit-kmz.ru*

Schemes of devices applied for optical channels axes alignment in optical-electronic complex are discussed. The devices used in workshop conditions as a component of control-calibration instrumentation and as built-in control systems are considered. A mathematical model of a simple device for axes alignment testing is proposed, possible causes of errors and methods of their elimination are described. Recommendations for implementation of the design of the device for optical channels axes alignment testing are presented.

Keywords: channel alignment, optical-electronic complex, invariance, Lozenge prism, collimator

Data on author

Sergey N. Sklyarov — Post-Graduate Student; MIIGAiK; PJSC S. A. Zverev Krasnogorsky zavod, Deputy Director of the Scientific and Technology Center; E-mail: s.sklyarov@zenit-kmz.ru

For citation: Sklyarov S. N. Devices for testing alignment of optical channels axes of optical-electronic complexes // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 9. P. 741—749 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-9-741-749