

УДК 681.7.028.24, 681.783.25

Юстировка приёмного канала импульсного лазерного дальномера

© 2018 г. **Н. Г. Кувшинов; А. В. Нужин, канд. техн. наук; В. В. Пронин**

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, г. Сосновый Бор Ленинградской области

E-mail: nuzhin@mail.ru

Поступила в редакцию 17.10.17

Предложена оригинальная методика юстировки приёмного канала импульсного лазерного дальномера. Юстировка включает фокусировку фотоприёмника и согласование с осью визирного канала дальномера. Все юстировочные операции выполняются в видимой области спектра на коллиматорной установке со зрительной трубой. Выполнена оценка точности предлагаемой методики и приведена иллюстрация эксперимента.

Ключевые слова: лазерный дальномер, юстировка, коллиматорная установка, внеосевая парабола, зрительная труба, фотоприёмник.

Коды OCIS: 220.1140, 280.3400.

В состав импульсного лазерного дальномера входят передающий и приёмный каналы. Передающий канал содержит лазер и коллимирующую оптическую систему. Приёмный канал содержит приёмник оптического излучения и оптическую систему для регистрации лазерного излучения, отражённого от объекта. В дополнение к этому дальномер часто снабжают визирным каналом для наведения на объект [1, 2].

При юстировке дальномера оси всех трёх каналов выставляются параллельно друг другу.

Юстировка приёмного канала с одноэлементным фотоприёмником в импульсном лазерном дальномере имеет ряд особенностей. Фоточувствительная площадка фотоприёмника имеет, как правило, малые размеры. Так, например, фотодиод ЛФД-2 имеет диаметр фоточувствительной площадки 0,15 мм, фотоприёмное устройство ФУО-155 (АО «НПО Орион») — 0,2 мм. Рабочая длина волны составляет 1,06 мкм или 1,54 мкм. Фотоприёмник работает со светосильным (относительное отверстие 1:1,2–1:1,4) линзовым объективом, имеющим малую глубину резкости изображения, а aberrации объектива исправляются для одной рабочей длины волны. В результате юстировки должна выполняться как фокусировка изображения удалённого объекта на площадку фотоприёмника, так и согласование оси приёмного канала (оси проходящей через узловую точку объектива и центр фоточувствительной площадки) с осью пе-

редающего лазерного канала или с осью визирного канала.

В большинстве случаев перемещение фотоприёмника при юстировке производится «по сигналу», когда с помощью отдельного лазерного диода и связанной с ним оптической системы имитируется отражённый от объекта импульс излучения. Этот импульс регистрируется фотоприёмником, а подвижками фотоприёмника находится положение, в котором регистрируется максимум снимаемого с него сигнала. Метод является весьма трудоёмким, так как увеличение или уменьшение сигнала при перемещениях фотоприёмника не даёт однозначной информации о требуемом направлении перемещения и его величине [3].

В данной работе описывается относительно простой метод юстировки фотоприёмника с наблюдением его фоточувствительной площадки через линзовую зрительную трубу с использованием цифровой телевизионной камеры. Задачей юстировки является совмещение центра фоточувствительной площадки фотоприёмника с задней фокальной точкой $F'_{\lambda L}$ объектива приёмной части для рабочей длины волны лазера дальномера. При этом линия, проходящая через узловую точку объектива и центр фотоприёмной площадки, должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы. Также желательно избежать перефокусировки объектива с видимой части спектра на рабочую длину волны в ближней ИК области.

Перефокусировка потребует перемещения фотоприёмника относительно объектива вдоль визирной оси на фиксированную величину. Обеспечить такое перемещение без смещения фотоприёмника в направлениях, перпендикулярных оси, довольно трудно по конструктивным причинам.

Известны различные варианты использования съёмных плоскопараллельных пластин и насадочных линз для перефокусировки объектива в зависимости от его хроматической аберрации и рабочей длины волны [4–6]. Применительно к сформулированной задаче использование плоскопараллельной пластины для установки фотоприёмника с наблюдением его площадки в видимой области спектра и без перефокусировки поясняется на рис. 1.

Фокальная точка объектива $F'_{\lambda L}$ для рабочей лазерной длины волны $\lambda_L = 1,54$ мкм смещена относительно фокальной точки $F'_{\lambda V}$ для длины волны $\lambda_V = 0,59$ мкм, используемой при юстировке, на величину $\Delta_{\lambda L-\lambda V}$. Численное значение $\Delta_{\lambda L-\lambda V}$ определяется на стадии расчёта объектива. При расчёте также подбирается плоскопараллельная пластина, которая в случае установки за объективом (рис. 1б), внесёт на длине волны λ_V удлинение

$$\Delta_{PP} = \Delta_{\lambda L-\lambda V}. \quad (1)$$

Тогда фокальная точка объектива $F'_{\lambda L}$ будет совпадать с фокальной точкой $F'_{\lambda V PP}$ того же объектива с плоскопараллельной пластиной для λ_V .

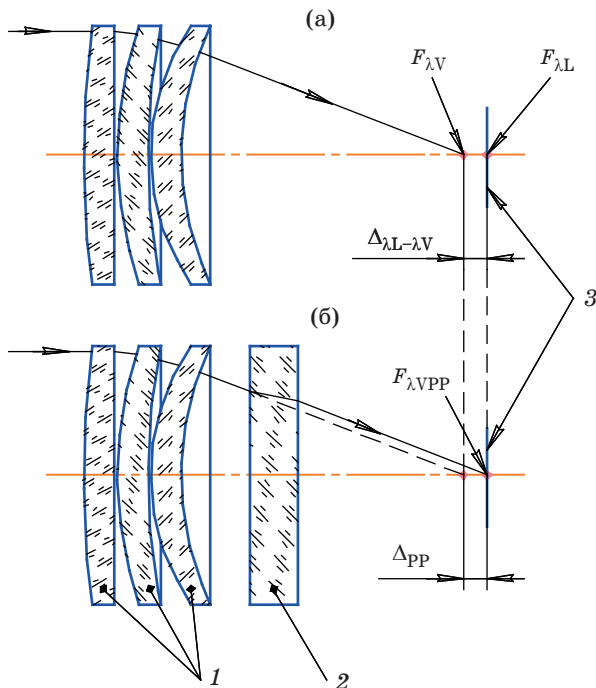


Рис. 1. Фокусировка объектива на лазерную длину волны с использованием съёмной плоскопараллельной пластины. 1 — объектив, 2 — плоскопараллельная пластина, 3 — чувствительная площадка фотоприёмника.

В результате, установив за объективом плоскопараллельную пластину, юстировку можно проводить на длине волны λ_V , а потом эту пластину убрать.

До проведения указанной юстировки необходимо выполнить ряд подготовительных операций. Предварительно следует выставить и зафиксировать положение визирной оси зрительной трубы параллельно оси лазерного пучка или оси визирного канала дальномера. Для этого удобно использовать вспомогательную коллиматорную установку на основе внеосевого параболического зеркала.

По оси пучка, формируемого коллиматорной установкой, следует установить зрительную трубу и лазерный дальномер, как показано на рис. 2.

В фокусе внеосевого параболического зеркала 1 установлена диафрагма 2, поверхность которой является визуализатором лазерного излучения. В качестве источника излучения 3 используется светодиод видимого диапазона, установленный вблизи диафрагмы. Излучение светодиода после отражения от параболического зеркала формируется в коллимированный световой пучок. Далее в зону коллимированного пучка устанавливаются в соответствии с рисунком зрительная труба 5, телевизионная камера 6 и угловой отражатель 7. Поворотами зрительной трубы следует добиться положения, при котором изображение диафрагмы 2 совпадает с центром перекрестия, имеющегося в поле зрения зрительной трубы. Регистрация изображения диафрагмы производится телевизионной камерой 6. Затем угловой световозвращатель следует убрать и установить дальномер так, чтобы приёмный канал оказался напротив зрительной трубы.

Угловую ориентацию дальномера следует уточнить, добившись положения, при котором ось лазерного пучка передающего канала и ось визирного канала дальномера окажутся параллельны оси коллиматорной установки. Для этого следует зарегистрировать положение оси лазерного пучка или

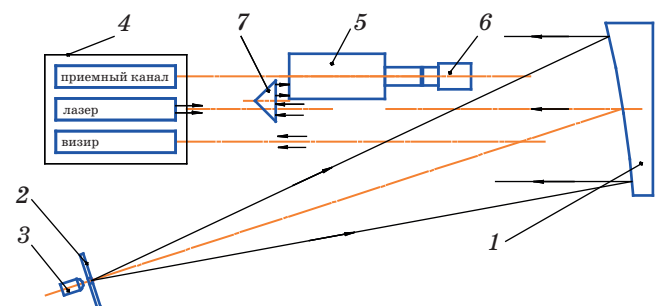


Рис. 2. Установка зрительной трубы относительно лазерного дальномера. 1 — внеосевое параболическое зеркало, 2 — диафрагма, совмещённая с визуализатором лазерного излучения, 3 — светодиод, 4 — лазерный дальномер, 5 — зрительная труба, 6 — телевизионная камера, 7 — угловой световозвращатель.

оси визирного канала. Регистрация положения оси лазерного пучка на коллиматорной установке применительно к импульсным дальномерам относительно подробно описана в [7] и в данной работе не рассматривается.

Для регистрации положения оси визирного канала следует при включённом светодиоде коллиматорной установки зафиксировать его изображение в поле зрения визирного канала и поворотами дальномера установить его в центр поля зрения.

Далее юстировка выполняется при неподвижных зрительной трубе и корпусе дальномера (рис. 3). Через объектив 1 и съёмную плоскопараллельную пластину 2 чувствительная площадка 3 фотоприёмника подсвечивается внешним светодиодом 7.

Объектив зрительной трубы 5 строит изображение чувствительной площадки в плоскости сетки окуляра зрительной трубы. Это изображение удобнее всего регистрировать с помощью ПЗС-камеры 6 со своим объективом. Фокусировка зрительной трубы предварительно выполняется на бесконечность для видимой области спектра, включая рабочую длину волны светодиода подсветки.

Далее, перемещениями фотоприёмника вдоль оптической оси объектива следует добиться резкого изображения его чувствительной площадки, выполнив при этом фокусировку. Перемещениями фотоприёмника перпендикулярно оси объектива следует привести изображение в центр сетки окуляра зрительной трубы, при котором ось приёмного канала окажется параллельной визирной оси зрительной трубы. После этого плоскопараллельную пластину следует убрать. В результате площадка фотоприёмника оказывается размещённой в требуемом положении для рабочей длины волны λ_L .

В данной работе по предложенной методике выполнялась юстировка приёмной части дальномера, состоящей из 3-х линзового объектива и фотодиода ЛФД-2А с приёмной площадкой диаметром 0,15 мм. Объектив имел относительное отверстие 1:1,4, фокусное расстояние 70,00 мм для рабочей длины волны $\lambda_L = 1,54$ мкм, фокусное расстояние 66,32 мм для $\lambda_V = 0,59$ мкм. Разница в величине задних фокальных отрезков с учётом изме-

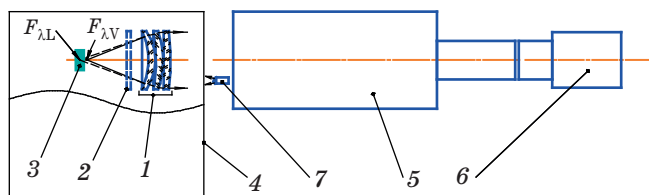


Рис. 3. Расположение приёмного канала дальномера и зрительной трубы: 1 — объектив приёмной части дальномера, 2 — съёмная плоскопараллельная пластина, 3 — чувствительная площадка фотоприёмника, 4 — корпус дальномера, 5 — зрительная труба, 6 — телевизионная камера, 7 — светодиод подсветки.

нения положения главных плоскостей составила $\Delta_{\lambda_L-\lambda_V} = 3,41$ мм. Расчётный абберационный кружок рассеяния объектива для точки на оси на рабочей длине волны составлял 2,8 мкм. Для юстировки использовалась плоскопараллельная пластина толщиной 9,3 мм, которая на длине волны $\lambda_V = 0,59$ мкм вносит удлинение $\Delta_{pp} = 3,41$ мм. В процессе юстировки пластина прижималась к внутреннему торцу оправы объектива. Какой-либо доработки корпуса дальномера для установки пластины не потребовалось. Подсветка фотоприёмника через объектив выполнялась светодиодом BL-L502UYC (Betlux) с длиной волны излучения 0,59 мкм. В качестве зрительной трубы использовался автоколлиматор АКТ-15 с фокусным расстоянием объектива 500 мм. Регистрация изображения проводилась установленной за окуляром коллиматора ПЗС-камерой VBC-541 USB (ООО «ЭВС») с объективом «Вега 2/20».

Оценка точности юстировки по предлагаемой методике выполняется достаточно просто. Допуск на точность установки чувствительной площадки фотоприёмника назначается при проектировании дальномера. В большинстве случаев угловое поле приёмной части дальномера превышает расходимость лазерного пучка, формируемого дальномером, на (20–30)% и более [8]. Исходя из этого соотношения, допуск на точность установки фотоприёмника может достигать 1/5 от углового поля приёмной части дальномера. Объектив приёмной части с фокусным расстоянием 70 мм обеспечивает угловое поле $2\omega = 7'$ для фотоприёмника с приёмной площадкой диаметром 0,15 мм. В этом случае допуск на точность установки фотоприёмника составит 1,4 угловой минуты или 0,03 мм в линейной мере в направлениях, перпендикулярных оси приёмного канала. В дополнение к этому следует учесть, что плоскопараллельная пластина в сходящемся пучке вносит сферическую абберацию [9]. Ограничение влияния сферической абберации на качество изображения, по которому выполняется юстировка, осуществляется достаточно просто. Трёхлинзовый объектив со светосилой 1:1,4 на длине волны юстировки $\lambda_V = 0,59$ мкм имеет значение суммы Зейделя $S_1 = -0,0072$. Объектив с плоскопараллельной пластиной на той же длине волны имеет значение соответствующей суммы Зейделя $S_1 = -0,0636$. Расчёт оптической системы показал, что при уменьшении светосилы до значения 1:2,4 объектив с плоскопараллельной пластиной будет иметь сумму Зейделя $S_1 = -0,0074$. Таким образом, влияние дополнительной сферической абберации, вносимое пластиной, будет минимальным при указанном диафрагмировании объектива на время юстировки.

Кроме указанных факторов на положение сфокусированного пучка на фотоприёмнике влияют также наклон и клиновидность плоскопараллель-

ной пластины. Влияния погрешностей установки пластины относительно оси объектива, естественно, зависит от удаления пластины от фотоприёмника. В расчёте влияния погрешностей изготовления и установки пластины она размещалась на расстоянии 5 мм от плоскости фокусировки. Для указанного варианта размещения пластины её клиновидность в 5 угловых минут приводит к смещению пятна на фотоприёмнике по соответствующей координате на 0,004 мм. Наклон пластины на те же 5 угловых минут приводит к смещению пятна на 0,009 мм. При этом торцевое биение оправы объектива, к которой прижимается пластина, не должно превышать 0,1 мм. Суммарное смещение пятна на фотоприёмнике от двух указанных факторов составит 0,011 мм или 7% от размера площадки фотоприёмника. Таким образом, конкретные допуски на изготовление и установку плоскопараллельной пластины в оптической схеме могут быть назначены достаточно свободными.

Погрешности предварительной установки зрительной трубы и дальномера на коллиматорной установке (рис. 2) находятся в интервале 10–15 угловых секунд [10] и являются слабо влияющими. В итоге точность положения оси приёмного канала дальномера в результате юстировки будет определяться в основном погрешностью совмещения центра изображения чувствительной площадки фотоприёмника с центром сетки окуляра зрительной трубы.

На рис. 4 представлен внешний вид чувствительной площадки фотоприёмника ЛФД-2А, диаметр которой составляет 0,15 мм.

На рис. 5 представлено изображение чувствительной площадки, полученное через объектив приёмной части с плоскопараллельной пластиной и зрительную трубу с камерой ПЗС. Качество изображения на рис. 5 свидетельствует о том, что требуемая точность установки фотоприёмника может быть легко достигнута при юстировке по методике, предложенной в данной работе. Для юстировки не требуется оригинального оборудования, необходимо только подобрать плоскопараллельную пластину, толщина которой удовлетворяет условию (1). Таким образом, предложенная методика при малой трудоёмкости позволяет выполнять

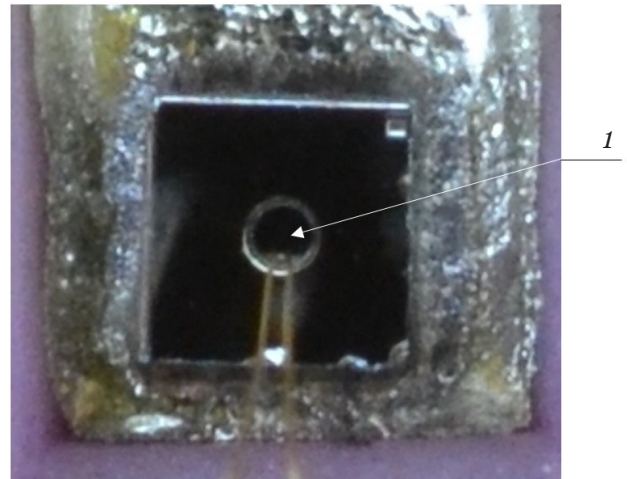


Рис. 4. Внешний вид чувствительной площадки фотоприёмника ЛФД-2А. 1 — чувствительная площадка фотоприёмника.

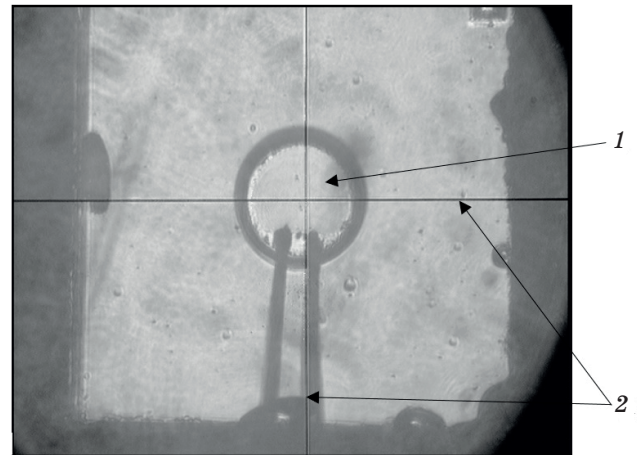


Рис. 5. Изображение чувствительной площадки фотоприёмника ЛФД-2А, регистрируемое по предложенной схеме: 1 — чувствительная площадка фотоприёмника, 2 — сетка окуляра зрительной трубы.

юстировку приёмного канала дальномера с малогабаритным фотоприёмником с достаточной для практического применения точностью и может также использоваться при юстировке различных лазерных систем локационного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Основы импульсной лазерной локации: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Рождествина В.Н. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 512 с.
2. Аснис Л.А., Васильев В.П., Волконский В.Б., Ключин Е.Б., Кулясов А.Г., Мейгас К.Б., Попов Ю.В., Хинрикус Х.В., Яковлев В.В. Лазерная дальнометрия / Под ред. Васильева В.П., Хинрикуса Х.В. М.: Радио и связь, 1995. 256 с.
3. Бельков С.А., Вензель В.И., Калашников Е.В., Соломатин И.И., Чарухчев А.В. Определение центра камеры взаимодействия многоканальной лазерной установки // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 9. С. 46–51.
4. Зотчев В.А. Криминалистическая фотография: Курс лекций. Ч. 2. Криминалистическая исследовательская фотография. Фотографирование объектов криминалистических экспертиз. Волгоград: ВА МВД России, 2004. 140 с.

5. *Цымбалюк К.К.* Фотографический объектив // Патент СССР № 29619. 1933.
6. *Lionel Jacques Van Rooyen.* Optical systems // GB patent specification 1582844. Application No. 46279/76. 1976.
7. *Lashmanov O.U., Nuzhin A.V.* Application of CCDs matrix for alignment of optoelectronic devices with lasers // IEEE Photonics Technology Letters. 2015. V. 27. № 15. P. 1636–1638.
8. *Балашов И.Ф.* Энергетическая оценка импульсных лазерных дальномеров (Пособие по методике инженерных расчетов). СПб.: ГИТМО (ТУ), 1999. С. 32.
9. *Чуриловский В.Н.* Теория оптических приборов. Ленинград: Ленинградское отд-е изд-ва «Машиностроение», 1966. 560 с.
10. *Креопалова Г.В., Лазарева Н.В., Пуряев Д.Т.* Оптические измерения. Учебник для вузов по специальностям «ОЭП» и «Технология ОП» / Под общ. ред. Пуряева Д.Т. М.:Машиностроение, 1987. 264 с.