

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИСТАНЦИИ В ДАЛЬНОМЕРНОМ КАНАЛЕ ПРИБОРА НАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

Фуфаев А.В.¹, Фёдорцев Р.В.²

¹ НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», г. Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Описан метод повышения точности дальномера с полупроводниковым лазером, работающего в режиме накопления слабых отраженных сигналов при многократном зондировании цели. Показано, что использование в приемном тракте дальномера двухпорогового электрического накопителя с автоматической регулировкой уровней, позволяет улучшить отношение сигнал/шум и повысить точность измерений. Приведены результаты лабораторных и полевых испытаний дальномерного канала прибора наблюдения. (E-mail: feod@tut.by)

Ключевые слова: прибор наблюдения, полупроводниковый лазер, дальномерный канал, точность измерения.

Введение

Первые лазерные локационные дальномеры импульсного типа были построены на базе твердотельных лазеров и работали по принципу измерения интервала времени между моментом излучения зондирующего лазерного моноимпульса и моментом приема излучения, отраженного от цели [1, 2]. Такие лазеры обеспечивали дальность действия до 10 000 м с абсолютной погрешностью измерения ± 5 м и имели не высокую энергетическую эффективность (КПД на уровне 50–60%).

За последние 15 лет достигнут большой прогресс в области создания дальномеров на основе полупроводниковых лазеров благодаря их невысокой стоимости и малым габаритным размерам. Такие изделия востребованы в системах навигации малых судов и индивидуальных летательных аппаратов. Кроме того, в ряде специальных областей, они потеснили дальномеры, построенные на базе классических твердотельных лазеров, в которых в качестве активной среды используются различные стекла и кристаллы, активированные редкоземельными элементами. Принцип работы дальномеров с полупроводниковым лазером предусматривает накопление слабых отраженных сигналов при многократном зондировании цели в импульсном режиме излу-

чения лазера [3]. Необходимость накопления сигналов полупроводникового лазера вызвана тем что, энергия его излучения на несколько порядков ниже, чем у твердотельного лазера, и тем самым не может быть обеспечена необходимая дальность действия дальномера при посылке одного импульса. Повышение точности измерения становится возможным за счёт статистической обработки накопленных данных [4–6]. Новые методы статистической обработки накопленных данных позволяют увеличить длительность импульса до 100–300 нс и более при сохранении высокой точности измерения.

При статистическом некогерентном накоплении эквивалентная энергия сигнала увеличивается в \sqrt{N} раз, где N – число зондирований в серии (объём накопления) [7].

На сегодня лазерные дальномеры, построенные на основе полупроводниковых лазеров, довольно широко представлены на мировом и отечественном рынках. Технические характеристики рассматриваемых приборов могут значительно отличаться по достигаемым численным значениям выходных параметров и определяются главным образом сферой применения изделия и решением поставленных перед ним задач.

В таблице представлены некоторые образцы дальномеров и приведены их основные характеристики.

Таблица

Наименование дальномера	Длина волны лазерного источника излучения, нм	Диапазон измеряемых дистанций, м	Погрешность измерения, на максимальной дистанции, м	Масса прибора, кг
МЛД-1000	905 ±10	20–1000	±1	0,35
Зенит-ЛД		30–2500	±2	1,2
ДЛК-1		10–3000	±3	1,5

Из таблицы становится очевидна закономерность: увеличение дистанции измерения ведет к повышению погрешности измерения и возрастанию массы прибора.

Цель исследований заключалась в определении возможности построения конкурентоспособного портативного отечественного прибора наблюдения (ПН) с тепловизионным и телевизионным каналами на базе полупроводникового источника излучения, обеспечивающего дальность R обнаружения объектов на расстоянии до 2000 м и абсолютной погрешностью измерения дистанции ±2 м на максимальной дальности виденья.

Снижение погрешности измерения расстояния в дальномере с полупроводниковым лазером

Как было отмечено выше, дальномеры на базе полупроводниковых лазеров работают в режиме статистического накопления энергии, который подразумевает многократное повторение лазерного зондирования цели, регистрацию смеси принятого сигнала и шума приемного тракта и суммирование (накопление) сохраненных результатов, после чего принимается решение о наличии цели и расстоянии до неё [7]. Аппаратурная реализация этой процедуры производится средствами цифровой техники, которые обеспечивают аналого-цифровое преобразование принимаемого сигнала с дискретизацией его по времени и амплитуде, статистическую обработку полученных числовых массивов и принятие решения по результатам обработки.

Частота дискретизации по времени F_t (период дискретизации $\sigma_t = 1/F_t$) определяется заданной дискретностью измерения дальности σ_R : $F_t = 1/\sigma_t = c / 2\Delta R$, где c – скорость света. Так, если задан период дискретизации по дальности $\Delta R = 1$ м, то тактовая частота $F_t = 150$ МГц. Интервалы дискретизации (номинальные ступени квантования) пронумерованы соответственно своему положению на шкале измеряемых времен (или дальностей). Таким образом, номер дискрета (адрес) соответствует определенной дальности.

Сам дискрет реализуется выделением ячейки памяти с данным адресом, в которой и производится накопление сигналов, соответствующих этой дальности по своей временной задержке. Следовательно, дискрет дальности, представленный соответствующей ячейкой памяти, является каналом накопления локационной информации, так называемым каналом дальности.

Количество каналов дальности можно определить из выражения $K_R = (R_{max} - R_{min}) / \Delta R$, где R_{max} и R_{min} – максимальная и минимальная измеряемые дальности. Например, если $R_{max} - R_{min} = 5000$ м, а $\Delta R = 1$ м, то количество каналов дальности и соответствующее количество сумматоров накопителя составит $K_R = 5000$. Далее рассмотрим метод обработки накопленных данных, позволяющий уменьшить тактовую частоту (и, соответственно, K_R) на порядок при сохранении требований по точности. Это позволяет не только упростить аппаратуру, но и повысить энергетический потенциал прибора, а следовательно, и дальность действия.

В каждом дискрете времени (канале дальности) производится двухэтапная пороговая обработка. На первом этапе аналоговый сигнал квантуется по амплитуде с помощью одно- или многопорогового преобразователя, а результаты квантования регистрируются в цифровой форме. Однопороговое квантование называется бинарным [7]. На втором этапе производятся суммирование накопленных чисел в каждом дискрете, сравнение результата накопления с известным пороговым числом и принимается решение о присутствии сигнала в данном канале дальности.

Вследствие случайной природы шумового процесса среднее квадратическое отклонение σ_N накопленных шумовых выбросов в каждом канале дальности растет в процессе накопления по квадратичному закону $\sigma_N^2 = N\sigma_1^2$, где σ_1 – среднее квадратическое значение шума в каждом единичном зондировании. В то же время сигнальная составляющая S_N накопленного результата растет линейно, пропорционально объему накопления N . Таким образом, метод накопле-

ния позволяет улучшить отношение сигнал/шум в $(S_N/\sigma_N)/(S_1/\sigma_1) = \sqrt{N}$ раз, где S_1 – средняя амплитуда принятого сигнала в каждом зондировании.

Случайный процесс, который наблюдается на выходе приемного тракта, представляет собой сумму сигнала и шума (рисунок 1).

Как видно из графика, режим накопления оптимально реализуется при преобразовании смеси S^* (сигнал + шум) двухпороговой структурой с симметричным положением порогов относительно нуля. В этом случае процедура накопления заключается в добавлении 1 в дискрет (тайм-слот), если в этом дискрете $S^* > u_+$, или вычитании 1, если $S^* < u_-$, где u_+ и u_- – положительный и отрицательный пороги срабатывания порогового устройства соответственно (на рисунке 1 уровень этих порогов составляет $+0,5\sigma_1$ и $-0,5\sigma_1$ соответственно) [3].

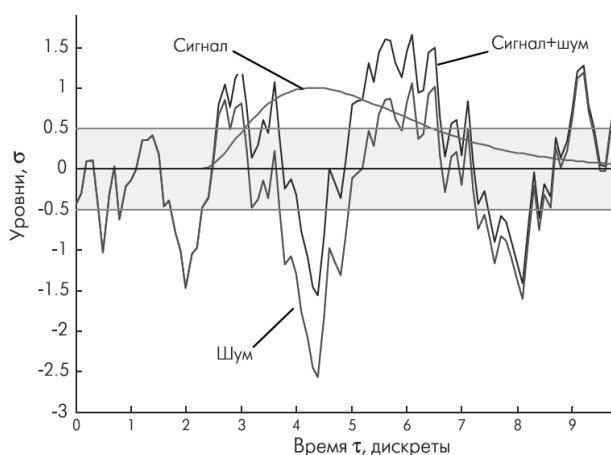


Рисунок 1 – Реализация случайного процесса сигнал + шум на входе двухуровневого порогового устройства. Пороговые уровни $+0,5$ и $-0,5$ показаны пунктиром. Отношение сигнал/шум $S/N = 1$

Пороги u_+ и u_- расположены так, чтобы частота их превышения выбросами шума была одинаковой. Это достигается, например, с помощью автоматической регулировки одного или обоих порогов [8]. При таком построении накопителя быстродействующая цифровая аппаратура задействуется минимально, а энергетическая эффективность накопления приближается к теоретическому пределу $-\sqrt{N}$.

Важно, что накопление не только дает энергетический выигрыш, но и повышает точность измерений. Поэтому можно и желательно устанавливать длительность зондирующего импульса в несколько (2–10) раз больше длитель-

ности периода дискретизации измерителя временных интервалов (ИВИ), поскольку при этом энергетический потенциал прибора возрастает, а точность остается в требуемых пределах.

Известны различные методы анализа массива накопленных данных для определения задержки отраженного от цели сигнала. Например, метод оценки задержки по динамике возрастания и спада накопленных сумм в окрестности дискрета с максимальной накопленной суммой [5]. Анализ показал недостаточную эффективность подобных методов обработки результатов накопления.

Можно определять задержку отраженного сигнала T_s по выражению начального момента первого порядка [9] массива накопленных данных в окрестности того элементарного интервала (тайм-слота, или дискрета времени), в котором накопленная сумма максимальна:

$$T_3 = \left[(j - p) + \frac{\{KI\}}{\{K\}} \right] \cdot \Delta T,$$

где:

$$\{KI\} = \sum_{l=1}^{q-1} I k_{j-m+1} K_{j-m+1+l},$$

$$\{K\} = \sum_{l=1}^q k_{j-m+1+l} K_{j-m+1+l}.$$

В рассмотренных выражениях j – номер дискрета времени, в котором накопленная сумма максимальна; $K_{(a)}$ – накопленная сумма в (а)-м дискрете; $k_{(a)}$ – весовой коэффициент (а)-го дискрета; $m = t_{фр}/\Delta T$ – количество дискретов, соответствующих длительности фронта лазерного импульса; $t_{фр}$ – длительность фронта лазерного импульса; $q = t_n/\Delta T$ – количество дискретов, соответствующих длительности импульса; t_n – длительность лазерного импульса; p – поправочное число, характеризующее точку временной фиксации; ΔT – длительность дискрета.

В частности, рассмотрим ситуацию, когда длина анализируемого массива равна длительности импульса t_n : $t_n = 6\Delta T$, $\Delta T = 1$, весовые коэффициенты $K_{(a)} = 1$. При таких допущениях задержка импульса определяется в соответствии с выражением:

$$T = \left[(j - p) + \frac{\{KI\}}{\{K\}} \right],$$

где:

$$\{KI\} = \sum_{I=1}^5 IK_{j-2+I},$$

$$\{K\} = \sum_{I=1}^6 k_{j-1+I}.$$

На основе такой модели было проведено компьютерное моделирование двухпорогового накопителя (рисунки 2, 3).

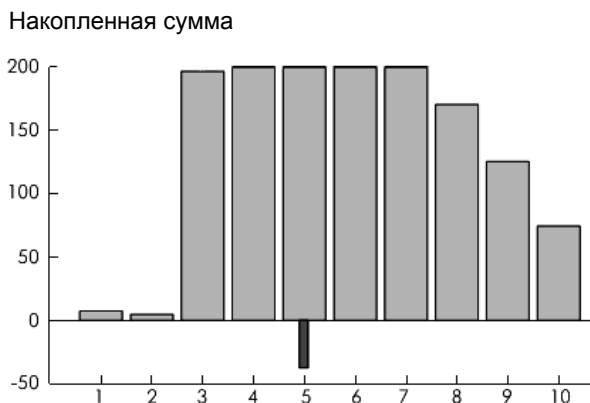


Рисунок 2 – Реализация результатов накопления в 10 каналах 2-уровневого накопителя при объеме накопления $N = 200$ и отношении сигнал/шум на входе $S = 1$

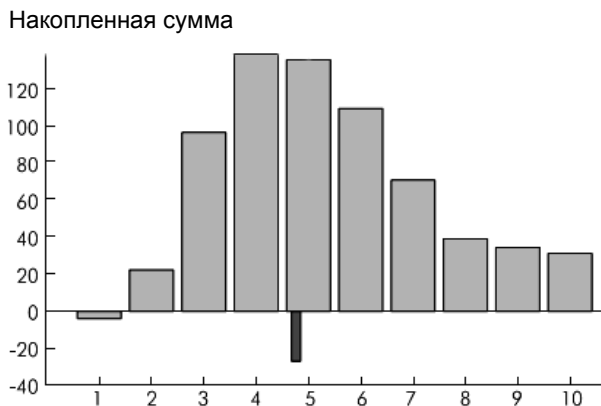


Рисунок 3 – Реализация результатов накопления в 10 каналах 2-уровневого накопителя при объеме накопления $N = 200$ и отношении сигнал/шум на входе $S = 10$

Маркер внизу показывает положение центра тяжести полученных массивов. Как видно, разброс результатов измерения дальности в неограниченном амплитудном диапазоне сигналов не превышает 20 % от величины дискрета ИВИ. В рассмотренном случае это соответствует 0,2 м.

Несмотря на столь малый разброс оценки дальности при накоплении, существуют пути его уменьшения. Следует ввести поправку, зависящую от количества переполненных ячеек накопителя или от накопленных сумм в дискретах, соседних с центром тяжести накопленного массива [3]. Тогда погрешность оценки дальности может быть снижена до 10 % от величины дискрета и менее. Это позволяет, с одной стороны, создавать приборы очень высокой точности, а с другой – обеспечивать приемлемую точность измерений при низкой тактовой частоте накопителя.

Существует еще один ресурс повышения точности дальномеров с накоплением. Речь идет о дальномеров с синхронным стартом [3]. При синхронном старте лазерный зондирующий импульс излучается синхронно с тактовым импульсом преобразователя «время-цифра» (при асинхронном – в произвольный момент времени). Схема с синхронным стартом обеспечивает значительно более высокую точность измерения (рисунок 4). При этом среднеквадратическая погрешность (СКП) монотонно уменьшается с ростом отношения S/N .

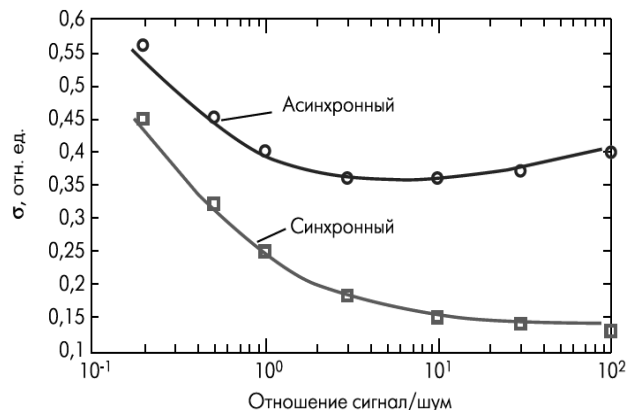


Рисунок 4 – Зависимость среднеквадратической погрешности оценки дальности от отношения сигнал/шум. Двухуровневый накопитель: $U_{01} = \sigma$, $U_{02} = -\sigma$, $N = 200$

При асинхронном же старте погрешность возрастает как при уменьшении, так и при увеличении отношения S/N ; в первом случае из-за возрастания влияния шума, во втором – из-за усиления роли ошибок округления. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании приборов с повышенными требованиями по точности измерения, тем более что синхронизация излучения полупроводниковых лазеров с тактовой частотой ИВИ не представляет особых затруднений и не несет больших материальных

затрат при их изготовлении или значительного усложнения аппаратной части.

Описание источника лазерного излучения и оптических компонентов объектива

Выбор в качестве источника лазерного излучения полупроводникового лазерного диода позволяет значительно снизить габаритные размеры и массу изделия, расширить температурный диапазон его работы, повысить устойчивость к ударным нагрузкам и электропитанию изделия, а также улучшить другие параметры. Оптимальное соответствие имеет излучатель со следующими техническими характеристиками:

- энергия импульса излучения – не менее 1 мДж;
- длина волны излучения – 905 нм;
- номинальная мощность излучения в импульсе – 75 Вт;
- номинальная длительность импульса – 100 нс;
- угловое поле излучения – $10^\circ \times 25^\circ$.

Для повышения КПД использования энергии лазерного диода в качестве излучателя применена оптическая схема объектива с цилиндрическим телескопом (рисунок 5).

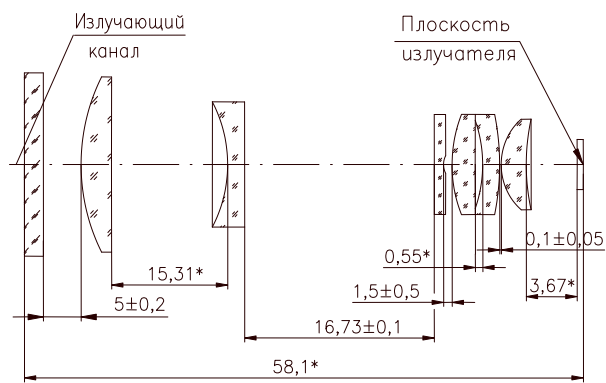


Рисунок 5 – Оптическая схема объектива с цилиндрическим телескопом

Такая форма оптических компонентов объектива излучателя позволяет повысить КПД использования энергии лазерного диода до 70–80 %, а также сформировать пучок излучения с постоянной расходимостью по направлениям. На рисунке 6 представлена трехмерная модель рассматриваемого объектива ПН.

Отраженное от объекта измерения излучение попадает в приемный тракт дальномерного канала. Приемный тракт представляет собой объектив с защитным стеклом и фотодиодом.

Отраженные импульсы проходят через объектив и попадают на плату с фотодиодом. После чего происходит их дальнейшая обработка. Структурная схема приемного тракта дальномерного канала ПН представлена на рисунке 7.

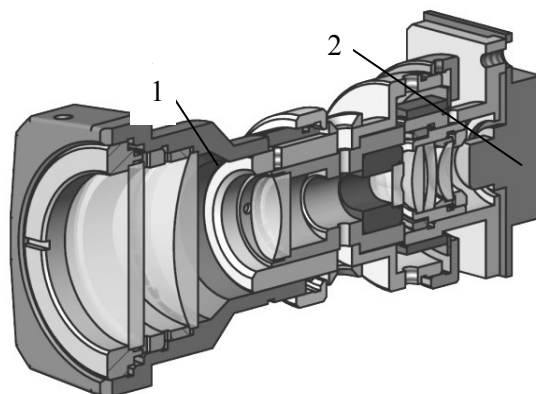


Рисунок 6 – Трехмерная модель объектива с цилиндрическим телескопом: 1 – объектив; 2 – плата с полупроводниковым лазерным излучателем

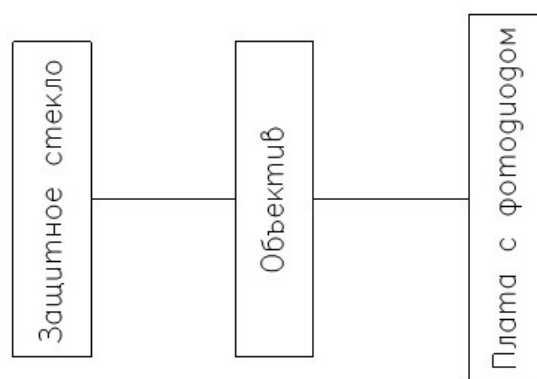


Рисунок 7 – Структурная схема приемного тракта дальномерного канала прибора наблюдения

Результаты лабораторных и полевых испытаний дальномерного канала макета прибора наблюдения

Объектом лабораторных и полевых испытаний являлся макет ПН с тепловизионным, телевизионным и дальномерным каналами. Цель испытаний заключалась в проверке соответствия основных узлов макета ПН установленным техническим требованиям. Использовалось следующее испытательное оборудование и приборы: 9721.00.00.000-П1, 9722.00.00.000П-11 и ОСК-2.

В соответствии с пунктами программы испытаний, к дальномерному каналу ПН предъявляются следующие требования:

Пункт 1. Диапазон измерений дальности по цели с угловым размером не менее 1,5 мрад, коэффициентом диффузного отражения $\geq 0,25$, в условиях МДВ ≤ 10 км должен быть в пределах 50–2000 м.

Пункт 2. Абсолютная погрешность измерения дальности должна быть ± 2 м.

Пункт 3. Расходимость лазерного излучения дальномера должна быть $1,5 \pm 0,5$ мрад.

Пункт 4. Должен быть обеспечен режим измерения дальности по одной или двум целям с раздельной индикацией.

Пункт 5. Максимальный темп измерений дальности должен быть не более $0,5 \text{ с}^{-1}$.

Для дальномерного канала предложена следующая методика испытаний на соответствие техническим требованиям.

На первом этапе диапазон измерений дальности до цели проверяют оценкой результатов, полученных при проверке абсолютной погрешности измерения дальности. Абсолютную погрешность измерения дальности определяют в диапазоне 50–2000 м. Абсолютная погрешность является оценкой абсолютной ошибки измерения. При нормальном (Гауссовом) распределении случайной величины измерения за абсолютную погрешность принимают её СКП, которая вычисляют по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}},$$

где n – число измерений дальности (не менее 5); x_i – результат измерения дальности; \bar{x} – математическое ожидание измеряемой величины (среднее арифметическое) значение дальности.

СКП измерения дальности вычисляется по формуле не менее чем для 5 контрольных точек, равномерно распределенных по диапазону дальности с обязательным включением в их состав крайних точек диапазона.

СКП измерения определяют в условиях трассового полигона. Трасса должна представлять собой открытое пространство. На линии трассировки между ПН и объектом не должно быть посторонних помех. С помощью аттестованного электронного тахеометра мод. «Focus 4» измеряют контрольные точки дальности.

Тахеометр устанавливают на штатив из комплекта тахеометра и приводят его в рабочее состояние в соответствии с руководством по

эксплуатации. Угловый отражатель на вешке устанавливают в контрольной точке. Измеряют расстояние до отражателя.

Снимают тахеометр со штатива и устанавливают на его место ПН, закрепляя его на штативе с помощью оправы из комплекта прибора наблюдения.

На место установки вешки с отражателем устанавливают мишень. В качестве мишени при измерении дистанции ПН используют угловый отражатель (9721.00.00.000-П1), представляющий собой устройство в виде прямоугольного тетраэдра со взаимно перпендикулярными отражающими плоскостями.

Допускаемая точность установки приспособления относительно контрольной точки (точка установки вешки с угловым отражателем) $\pm 0,3$ м.

Приспособление 9722.00.00.000П-11 представляет собой экран белого цвета размером $3,5 \times 3,5$ м. При установке оно должно быть ориентировано поверхностью белого цвета в направлении ПН. Плоскость экрана приспособления должна быть ориентирована перпендикулярно уровню земли.

В соответствии с руководством по эксплуатации на ПН проводят измерение дальности. Снимают показания измеренной дальности. По формуле, приведенной выше, вычисляют СКП. Измерения проводят поочередно во всех контрольных точках трассы.

Допускается в качестве мишени использовать естественные объекты (сооружения), имеющие плоскую диффузно отражающую поверхность (кирпичную, бетонную, оштукатуренную, деревянную, окрашенную металлическую) размером не менее $3,5 \times 3,5$ м, расположенную фронтально к оптической оси ПН. В этом случае при измерении образцового значения дистанции угловый отражатель устанавливают так, чтобы задняя поверхность отражателя была вплотную прижата к рабочей плоскости объекта.

Проверку расходимости пучка лазерного излучения на выходе передающего канала дальномера проводят по схеме, приведенной на рисунке 8.

ПН устанавливают на стенд для контроля расходимости излучения. Устанавливают диафрагму на оси пучка излучения. Установку производят путем последовательного перемещения диафрагмы в фокальной плоскости объектива коллиматора $F = 1600$ мм из комплекта ОСК-2 и измерения энергии E излучения, прошедшей че-

рез диафрагму, пока не будет выполнено условие установки диафрагмы на оси пучка излучения (при смещении диафрагмы в поперечном направлении доля энергии излучения, прошедшая через диафрагму, не должна увеличиваться).

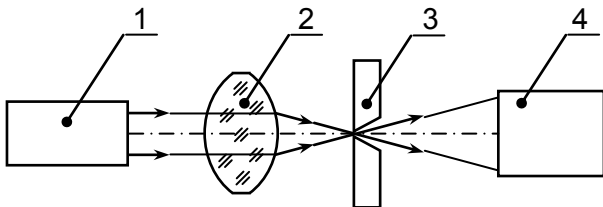


Рисунок 8 – Схема проверки расходимости лазерного излучения: 1 – дальномерный канал прибора наблюдения; 2 – объектив коллиматора; 3 – диафрагма; 4 – измеритель энергии

Допускается применение других методов установки диафрагмы, обеспечивающих выполнение условия установки диафрагмы на оси пучка излучения.

Диаметр диафрагмы должен быть равен значению d в мм, вычисляемому по формуле:

$$d = F \cdot Q,$$

где Q – энергетическая расходимость излучения по уровню 0,5 в рад (равна 0,0015 рад), F – фокусное расстояние (в мм) объектива коллиматора на длине волны 905 нм

По показаниям измерителя энергии проводят измерение энергии излучения E , прошедшей через диафрагму. Снимают диафрагму и по показаниям измерителя энергии проводят измерения энергии E_0 . Измерения повторяют не менее 3 раз. Вычисляют среднее значение E_{cp} по формуле:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{n},$$

где E_i – энергия излучения, прошедшего через диафрагму, в i -ом измерении; n – общее количество измерений.

Вычисляют среднее значение E_{0cp} по формуле:

$$E_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^N E_{0i}}{n},$$

где E_{0i} – энергия излучения без диафрагмы в i -ом измерении, n – общее количество измерений.

Вычисляют степень направленности излучения по формуле:

$$\theta = E_{cp} / E_{0cp}.$$

Вычисленное значение степени направленности излучения должно быть не менее 0,5, что соответствует расходимости излучения не более $1,5 \pm 0,5$ мрад.

Режим измерения дальности по одной или по двум целям с раздельной индикацией проверяется в условиях трассового полигона вместе с проверкой по методике п. 1. Две цели, сдвинутые по фронту на 15 м, выставляются на измеренные расстояния. Вторая цель удалена от первой на расстояние 50 м. Производится измерение дальности ПН до первой цели и контроль раздельной индикации измерений дальности до второй цели.

Проверку максимального темпа измерений дальности производят совместно с проверками по пунктам 1 и 2.

По результатам лабораторных и полевых испытаний дальномерный канал имеет следующие характеристики:

- рабочая длина волны 905 ± 20 нм;
- диапазон измерений дальности 50–2000 м;
- предел абсолютной погрешности измерения ± 2 м (относительная погрешность составляет 0,1 %);
- расходимость лазерного излучения дальномера $1,5 \pm 0,5$ мрад;
- обеспечивается режим измерения дальности по одной или по двум целям с раздельной индикацией;
- максимальный темп измерений дальности $0,5 \text{ с}^{-1}$.

Заключение

Показана эффективность использования в качестве источника излучения в дальномерном канале прибора наблюдения полупроводникового лазерного диода по следующим показателям:

- сокращаются габаритные размеры и масса прибора за счёт: уменьшения числа оптических компонентов в оптической схеме, снижения числа элементов питания для полупроводникового лазера, исключения массивной системы охлаждения источника излучения;
- уменьшается энергопотребление системы питания изделия в среднем на 40 % за счёт применения новой элементной базы;

– повышается точность измерения дальности дистанции в среднем на 30 % за счёт применения двух методов обработки сигналов: статистической обработки накопленных данных и синхронного старта лазерного зондирующего импульса и тактового импульса преобразователя «время–цифра».

Список использованных источников

1. *Aman, M.* Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement / M. Aman [et al.]. – Optical Engineering, 2001. – Vol.40, № 1. – P. 10–19.
2. *Ермаков, Б.А.* Получение и обработка информации в импульсных лазерных дальномерах / Б.А. Ермаков, М.В. Возницкий. – Оптический журнал, 1993. – С. 241–255.
3. *Вильнер, В.* Оценка возможностей светолокационного измерителя дальности с накоплением / В. Вильнер, А. Ларюшин, Е. Рудь. – Фотоника, 2007. – № 6. – С. 22–26.
4. *Barr, K.* Method for improving the received signal to noise ratio of a laser rangefinder / K. Barr. – US Patent No.7184130, Feb. 27, 2007, US CI. 356/4.01, Int. CI. G01C 3/08.
5. *Morcom, J.* Optical distance measurement / J. Morcom. – US Patent No.6753950, June 22, 2004, US CI. 356/4.01, Int. CI. G01S 17/00; G01C 3/08.
6. *Seok-Hwan, L.* Laser rangefinder and method thereof / L. Seok-Hwan [et al.]. – Intern. Patent WO 2005/006016, 20.01.05, Int. CI. G01S 17/10.
7. *Ширман, Я.Д.* Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981.
8. *Вильнер, В.Г.* Проектирование пороговых устройств с шумовой стабилизацией порога / В.Г. Вильнер // Оптико-механическая промышленность. – 1984. – № 5. – С. 39–41.
9. *Корн, Г.* Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 547 с.

Feodortsau R.V., Fufaev A.V.

Enhance the accuracy of the distance of distance measuring channel of the observation device using semiconductor laser

A method for improving the accuracy rangefinder with a semiconductor laser operating in the mode of accumulation of weak reflected signals at multiple sensing target, is described. It is shown that the use of in receiving channel of rangefinder two threshold electric drive with automatic adjustment of levels, can improve the signal/noise ratio and improve the accuracy of measurements. The results of laboratory and field tests distance measuring channel observation device are given. (E-mail: feod@tut.by)

Key words: supervision device, semiconductor laser, distance measuring channel, accuracy of measurement.

Поступила в редакцию 25.09.2013.