



СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПАССИВНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

А.В.Медведев, ОАО "РОМЗ" design@romz.ru, г. Ростов;
А.В.Гринкевич, ЗАО "ЭВС", lyu1455@yandex.ru, г. Москва;
С.Н.Князева, ОКБ ОАО "РОМЗ", ksn-61@yandex.ru, г. Ростов

Оптико-электронные устройства, позволяющие ориентироваться на местности и измерять дальность до объектов наблюдения, расширяют функциональные возможности военной техники. Однако некоторые фотоприемные устройства, чувствительные в спектральном диапазоне работы импульсных лазерных дальномеров, снижают эффективность применения активных дальномеров. Предложены методы построения пассивных оптических дальномеров, которые открывают новые пути совершенствования систем дальнометрирования.

Для расширения возможностей современных оптико-электронных прицельно-наблюдательных приборов широко применяются встроенные функциональные устройства различного назначения. К ним относятся устройства, позволяющие ориентироваться на местности, производить измерения горизонтальных углов (азимута) и вертикальных углов (углов места цели), а также устройства, посредством которых можно осуществлять измерения дальности до объектов наблюдения или дальномеры.

При измерении дальности до объектов наблюдения чаще всего применяют наиболее отработанные активные методы измерения – импульсные, основанные на измерении времени прохождения короткого светового импульса до объекта и обратно, и фазовые, основанные на измерении фазы отраженной световой волны. Каждый из методов имеет свои отличия как в сложности реализации, так и в точности измерения дальности.

На них построены современные лазерные дальномеры. Однако следует отметить, что создание целого класса фотоприемных устройств, чувствительных в спектральном диапазоне работы импульсных лазерных дальномеров, делают спорным безусловность применения активных дальномеров, особенно для военной техники, где на передний план выступают эффект демаскировки и эффективность систем противодействия. Не стоит пренебрегать и тем фактом, что лазерные дальномеры способны принимать сигналы ложных отражений, с которыми не всегда "справляется" режим стробирования.

В этой связи не потеряли актуальности и активно выступают на передний план пассив-

ные методы измерения дальности, основанные на следующих принципах:

- на сравнении предмета известных размеров с измерительной шкалой, расположенной в действительной плоскости изображения оптического прибора (принцип "база на цели");
- на измерении величины перемещения фокусирующего компонента в оптической системе;
- на измерении угла при наблюдении предмета через два канала, расположенные на точно известном удалении друг от друга внутри прибора, – так называемый принцип "с внутренней базой".

Пассивные дальномеры, работающие по принципу "база на цели", широко применимы и достаточно подробно описаны.

Рассмотрим два других принципа пассивного дальнометрирования, как наиболее перспективные в плане реализации в современных приборах.

Оптические стереодальномеры и внутрибазные дальномеры сегодня всерьез рассматриваются в качестве одного из компонентов системы управления огнем перспективных артиллерийских танков [1]. Более того, по мнению специалистов, наличие оптических дальномеров в составе систем управления огнем боевых машин необходимо ещё и потому, что площадные цели могут не иметь вертикальной проекции.

Известно, что наводка на удаленный предмет может производиться не только окуляром, но и перемещением объектива до получения резкого изображения предмета на сетке оптического прибора. При этом объектив смещается от своего

первоначального положения относительно сетки в сторону увеличения расстояния, соответствующего установке на бесконечность [2].

На этом принципе можно построить систему пассивного дальномера, используя элемент, с высокой точностью определяющий осевую подвижку объектива, например координаточувствительный фотоприемник, имеющий наименование "Мультискан".

При создании фотоприемника "Мультискан" использованы КСДИ-структуры (кремний с диэлектрической изоляцией). Он содержит набор встречно включенных диодов (D), одни концы которых подключены к распределенному делителю напряжения R, другие – к низкоомной сигнальной шине S (рис.1).

При приложении к резистивному делителю постоянного напряжения пары встречно включенных p-n переходов оказываются под воздействием линейно распределенного напряжения. Направление и величина их фототоков при этом соответствует вольт-амперной характеристике прибора, которая имеет положительную и отрицательную области насыщения и переходную зону.

Пространственная ширина зоны или апертура зависит от величины напряжения, приложенного к резистивному слою, а положение нуля определяется координатой нулевого потенциала на резистивной шине. На сигнальной шине возникает напряжение U, при котором полный суммарный ток сигнала на выходе "Мультискана" автоматически устанавливается равным нулю. Нулевая экви-

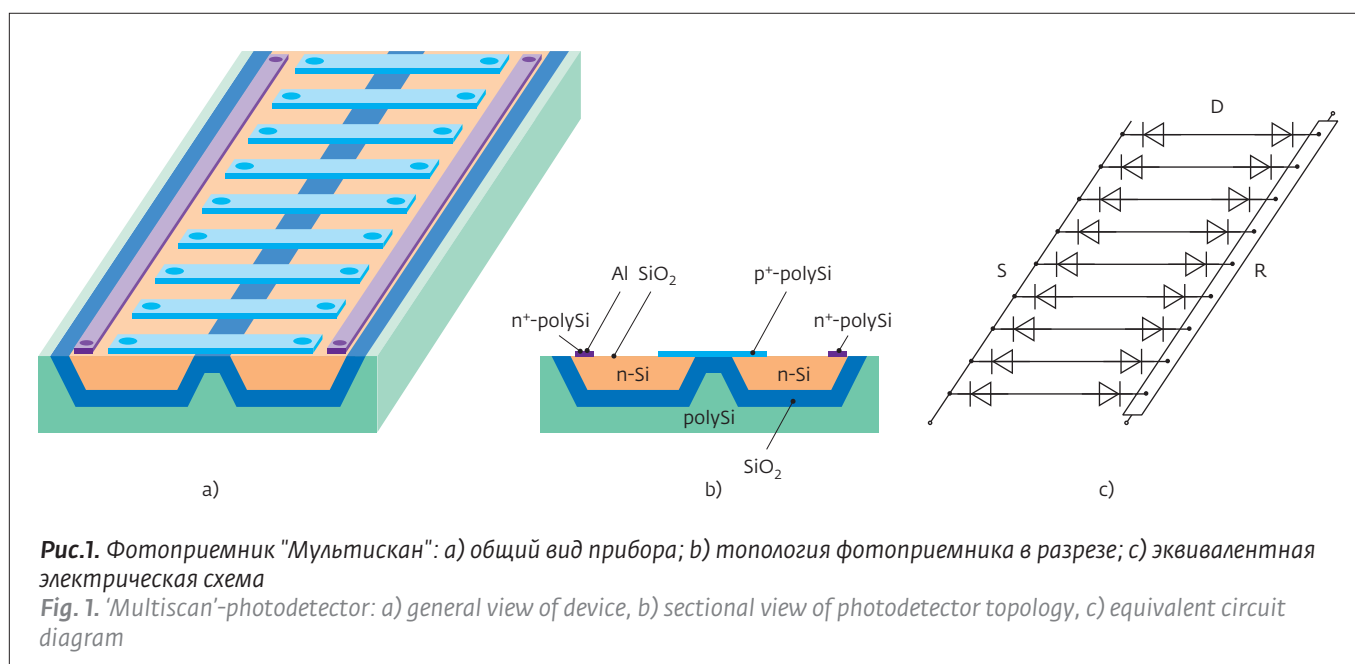
потенциаль автоматически располагается в центре светового пятна, где сумма токов слева и справа от энергетического центра сигнала равна нулю.

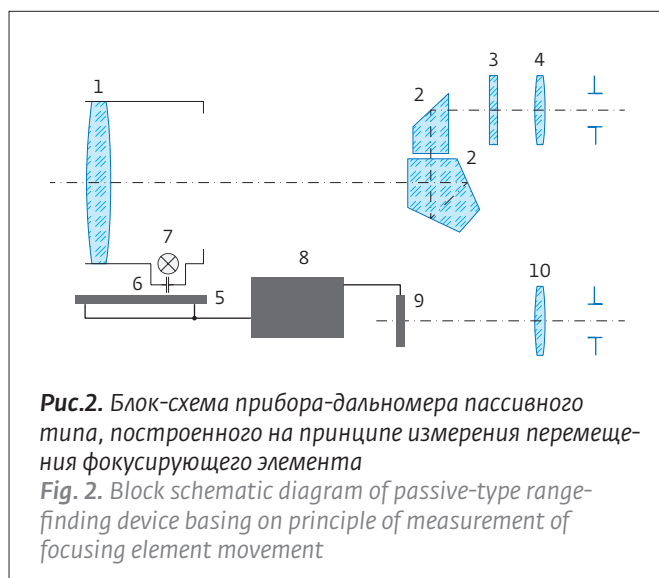
Преимущество данного фотоприемника заключается в реализации режима непрерывного слежения за текущим значением координаты светового сигнала. Такой режим работы осуществим за счет уникальных характеристик фотоприемника "Мультискан": высокой разрешающей способности (10^{-5} от угла зрения) и возможности фильтрации фототоков посторонних засветок, превышающих величину полезного сигнала более чем в 1000 раз. Высокая точность метода обусловлена тем, что в результате данной процедуры определяется положение такого устойчивого координатного признака оптического сигнала, как его медиана.

Также важным достоинством фотоприемника является то, что выходной сигнал формируется в виде напряжения, непосредственно пропорционального положению медианы светового сигнала, что упрощает дальнейшую обработку выходного сигнала.

Создание таких фотоприемников потребовало разработки ряда новых технологических приемов, обеспечивающих высокую точность указания координат, малую величину темнового тока, равномерность координатной характеристики и другие электрофизические параметры.

Основные параметры координаточувствительного фотоприемника "Мультискан" приведены в таблице.





Блок схема прибора-дальномера пассивного типа, построенного на принципе измерения величины перемещения фокусирующего компонента, показана на рис.2.

Прибор-дальномер содержит объектив 1, оборачивающую систему 2, сетку 3, окуляр 4, мультискан 5, диафрагму 6 с подсветкой 7, блок управления цифроиными индикаторами 8, цифроиные индикаторы 9 и оптическую систему 10 для считывания значений дальности до объекта.

Принцип действия прибора заключается в следующем. Наводка на выбранный удаленный объект производится перемещением объектива 1 до получения резкого изображения объекта на сетке 3. Вместе с объективом перемещается диафрагма 6, которая совместно с подсветкой 7 формирует световое пятно на мультискане 5, неподвижном относительно сетки 3. Мультискан регистрирует положение энергетического центра светового пятна, выдавая выходной сигнал в виде аналогового напряжения, величина которого соответствует координате энергетического центра этого светового пятна. Блоком управления 8 выходное напряжение преобразуется в сигналы управления цифроиными индикаторами 9. Дальность до объекта высвечивается на цифроиных индикаторах 9 и вводится в поле зрения или наблюдается через оптическую систему 10 без прерывания процесса наблюдения за объектом.

Ошибка измерения дальности в таком приборе складывается из ошибки наводки при фокусировке на удаленный предмет и ошибки считывания значения дальности.

Ошибка наводки при фокусировке определяется апертурным углом объектива 1 в про-

Характеристики фотоприемника "Мультискан"

Параметры	Значение
Размер фотоприемной площади, мм	20×0,5
Точность определения координаты, мкм	5
Координатное разрешение, мкм	0,2
Темновой ток, А (U=10 В)	10 ⁻⁸ – 10 ⁻¹¹
Минимально необходимая мощность светового сигнала (W _{min}), Вт	10 ⁻⁹
Минимальное время определения координаты (при W=3·10 ⁻⁵ Вт), с	10 ⁻⁵
Диапазон спектральной чувствительности, мкм	0,2–1,0
Положение максимума чувствительности (λ _{max}), мкм	0,7
Величина фоточувствительности при λ _{max} , А/Вт	0,3
Рабочее напряжение, В	5,0–10,0
Рабочая температура, °С	От –10 до 60

странстве предметов, а также свойствами глаза, и может быть оценена по формуле [3]:

$$\Delta_z = \frac{b}{\sigma^2}, \quad (1)$$

где b – величина, определяемая чувствительностью глаза к взаимному смещению волновых фронтов (0,2 мкм);
 σ – значение апертурного угла.

При использовании объектива с диаметром входного зрачка 40 мм и фокусным расстоянием 200 мм значение апертурного угла составит $\sigma=0,05$, а ошибка наводки при фокусировании, вычисленная по формуле (1), будет иметь величину 80 мкм.

Ошибка считывания значения дальности определяется координатной чувствительностью фотоприемника "Мультискан", выпускаемого предприятием АП НТЦ "Физимпэкс" при Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе (Санкт-Петербург), и ее стандартная величина составляет 0,2 мкм.

Подвижка объектива при фокусировке на объект определится по известной формуле Ньютона [3]:

$$x' = \frac{-f'^2}{x}, \quad (2)$$

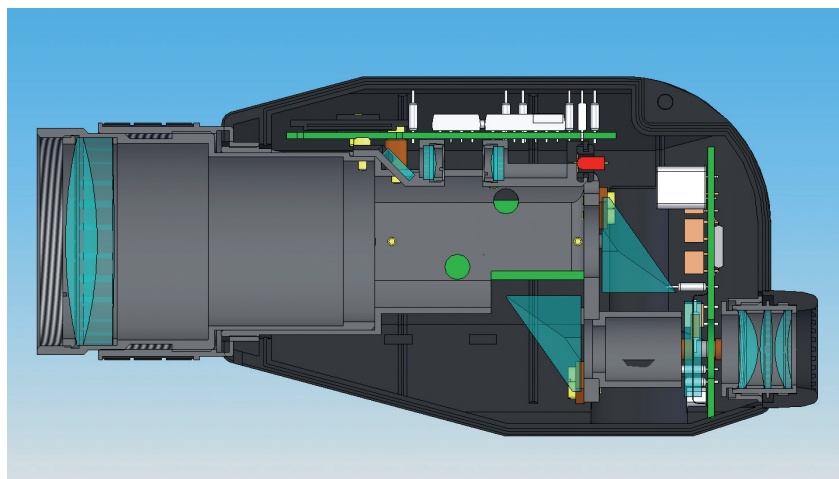


Рис.3. Пример конструктивного исполнения прибора-дальномера пассивного типа на принципе измерения перемещения фокусирующего элемента
Fig. 3. Example of design of passive-type range-finding device basing on principle of measurement of focusing element movement

с величиной ошибки наводки чрезвычайно мала, а величина суммарной ошибки, учитывающей погрешности наводки и считывания согласно предыдущим расчетам для рассматриваемого случая, составит:

$$[f'^2 / (0,8 \pm 0,0802)] = (50 \pm 4,5) \text{ м.}$$

Очевидно, что чем тщательнее наводка на резкость объекта, тем выше точность определения дальности до этого объекта. Поэтому для повышения точности используют известные методы минимизации ошибки наводки на резкость: к ним можно отнести использование в системе микрораstra совместно с сеткой [4] или фоку-

где x' – подвижка объектива от положения "бесконечность";

x – расстояние, измеряемое от переднего фокуса объектива до наблюдаемого объекта;

f' – фокусное расстояние объектива.

Для объектива с фокусным расстоянием 200 мм и объекта, находящегося на расстоянии 50 м, подвижка объектива, вычисленная по формуле (2), составит 0,8 мм.

При определении величины этой подвижки мультисканом, погрешность которого составляет 0,2 мкм, отсчет дальности по цифроиндикаторам составит:

$$[f'^2 / (0,8 \pm 0,0002)] = (50 \pm 0,0125) \text{ м.}$$

Таким образом, при использовании координаточувствительного фотоприемника "Мультискан" величина ошибки считывания в сравнении

сировочных клиньев [3].

В общем виде конструктивное исполнение прибора-дальномера пассивного типа, построенного на принципе измерения величины перемещения фокусирующего компонента, приведено на рис.3. Система, формирующая на мультискане световую точку, состоит из двух частей – неподвижной и подвижной.

Неподвижная часть представляет собой светодиод, установленный в фокусе миниатюрного коллимирующего объектива, и мультискан. Эта часть крепится к общему каркасу и неподвижна относительно сетки. Перед светодиодом установлена диафрагма с отверстием небольшого диаметра порядка (0,1-0,2) мм. Сеткой служит просветный жидкокристаллический индикатор, высвечивающий вычисленную дальность в виде трех значащих цифр.

Подвижная часть представляет собой миниатюрный фокусирующий объектив и наклонное

ОХАРА

оптические стекла

заготовки и пресовки до 1м
коэффициенты преломления от 1,4 до 2,2

ИК стекла и кристаллы

Германий (Ge), Кремний (Si),
Селенид Цинка (ZnSe), Сульфид Цинка (ZnS)

кварцевые стекла

КУ, КВ, КИ
блоки и заготовки до 1,5м

стеклокерамика

КТЛР 0,0+/-1,0x10⁻⁷/°C
блоки и заготовки до 1,5м

фториды

BaF₂, CaF₂, LiF, MgF₂, (УФ, В, ИК)

кристаллический кварц

синтетический кристаллический кварц

полировочные суспензии

на основе CeO₂, SiO₂, Al₂O₃, алмаза
наносуспензии для финишной полировки

смолы

полирующие и блокировочные
твердость от 15°C до 56°C

полировочные пленки

полиуретан, кашемир, кожа

алмазный инструмент

алмазные таблетки (на полимере, на металле)
алмазные сверла (размеры и формы под заказ)

лаки

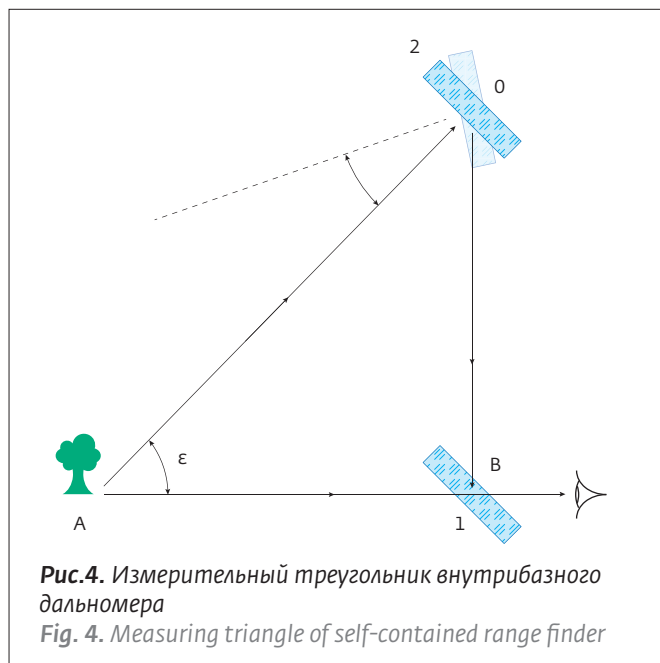
защитные, блокировочные, чернения
водостойкие и водорастворимые

пленкообразующие материалы

оксиды, фториды, сульфиды, селениды, металлы и т. д.

очистка оптики

чистящие материалы, оборудование для регенерации
ультразвуковые системы очистки



зеркало, направляющее сфокусированный пучок лучей от светодиода на мультискан.

Таким образом, на мультискане строится изображение диафрагмы малого диаметра. Подвижная часть соединена с объективом и при фокусировке объектива на объект перемещается вместе с ним, при этом изображение диафрагмы перемещается по мультискану. Параллельный ход лучей между двумя объективами – коллимирующим и фокусирующим – обеспечивает постоянство диаметра изображения диафрагмы, исключая влияние оптики на погрешность измерения координаты светового пятна, а следовательно, и на погрешность измерения дальности до объекта.

Тем не менее, ошибка наводки при измерении больших дистанций становится достаточно значительной, и для ее компенсации требуется наличие длиннофокусного объектива. Например, для повышения точности измерения на дальностях точной стрельбы оружия типа СВД (400–500 м) требуется объектив с фокусом более 600 мм, а это, в свою очередь, значительно затрудняет измерение при наблюдении цели с рук.

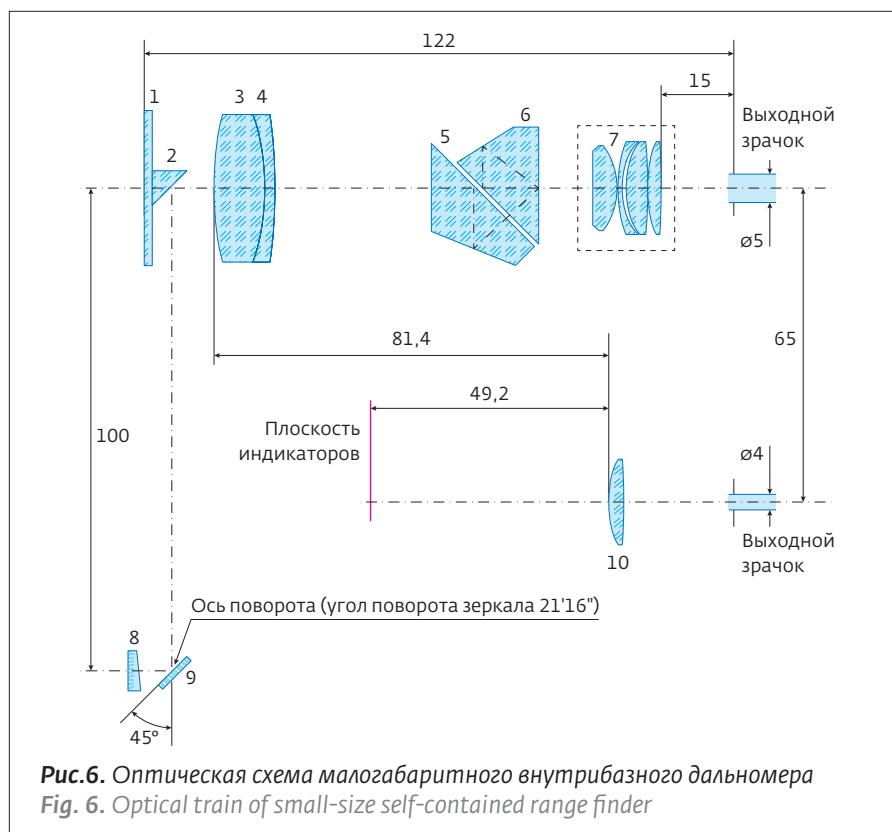
Не менее интересен класс оптических дальномеров, использующих в качестве базы расстояние между входными окнами, так называемые оптические внутрибазные дальномеры. В них расстояние до предмета измеряется посредством определения стороны прямоугольного измерительного треугольника по его другим известным элементам, один из которых остается постоянным и называется Б – оптической базой дальномера.

Для определения дистанции до цели $L = AB$ (рис.4) необходимо знать базу дальномера $B = OB$ и параллактический угол ϵ . Оптический внутрибазный дальномер осуществляет измерение дистанции путем определения параллактического угла цели ϵ с некоторой погрешностью $\Delta\epsilon$. При этом измеренная дальность будет иметь погрешность ΔL , зависящую от ошибки измерения базы $\Delta B/B$ и ошибки измерения параллактического угла $\Delta\epsilon/\epsilon$.

При изготовлении дальномера величина $\Delta B/B$ настолько мала, что ею пренебрегают и при оценке абсолютного значения погрешности измерений дистанции до цели, учитывая лишь ошибку измерения параллактического угла.

Точность измерения параллактического угла $\Delta\epsilon$ является угловой теоретической погрешностью дальномера и ограничивается разрешающей способностью глаза ψ . Применительно к дальномерам под разрешающей способностью глаза, как правило, понимают минимальное изменение параллактического угла ϵ , вызываемого изменением дистанции, которое может быть обнаружено глазом. Кроме того, при оценке учитывают увеличение оптической системы дальномера Γ .

Известно, что разрешающая способность глаза зависит от способа измерения. Если измерения состоят в приведении линий, разделяющих части изображения, на одну прямую линию, то $\psi \approx 10''$. При стереоскопическом способе совмещения изображений в одну кажущуюся плоскость величина ψ также равна $10''$.



Внутрибазные дальномеры распространены достаточно широко. Одним из них является оптический монокулярный внутрибазный саперный дальномер ДСП-30 (рис.5). Рисунок позволяет судить о габаритах ДСП-30М, имеющего дальномерную базу 300 мм. Поэтому рассмотрим вариант схемы оптического внутрибазного дальномера с более эргономичными параметрами, имеющего базу 100 мм и позволяющего значительно уменьшить габаритные размеры и вес изделия. Оптическая схема такого малогабаритного дальномера показана на рис.6.

Система имеет визирный канал, состоящий из защитного стекла 1, объектива 3, 4, призм-

ной оборачивающей системы Пехана 5, 6 и окуляра 7. Дальномерный канал включает в себя призму 2 с отражающей гипотенузной гранью, поворотное зеркало 9 и оптический клин 8. Информационный канал дальномера содержит положительную линзу-лупу 10, через которую рассматриваются три цифроиндикатора.

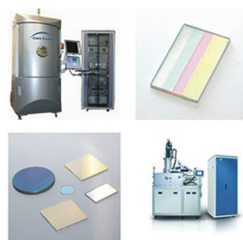
Расстояние между осями визирного и информационного каналов дальномера составляет 65 мм. Это позволяет, не отвлекаясь от наблюдения за предметом одним глазом (например правым), одновременно считать дальность до этого предмета, наблюдая за показаниями цифроиндикаторов другим глазом (левым).

При схематичном совмещении "головы наблюдателя" с выходными зрачками визирного и информационного канал-

лов, можно оценить эргономичность предложенной оптической системы, обеспечивающей достаточно удобное наблюдение обеими глазами (рис.7). Принцип работы дальномера заключается в следующем: в дальномере формируется два световых потока от цели (рис.8). Основной поток (верхний на рис.8) формируется визуальным каналом дальномера.

Дополнительный поток сформирован после отражения от двух зеркал, одно из которых (нижнее зеркало см. рис.8) может поворачиваться на небольшой угол относительно оси вращения, второе (верхнее зеркало, см. рис.8) – неподвижно. Поворот нижнего зеркала в вертикаль-

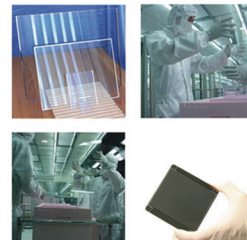
ООО «Изовак»



Разработка и изготовление тонкопленочных изделий
 Оптические элементы
 Напылительный сервис
 Сложные и уникальные покрытия

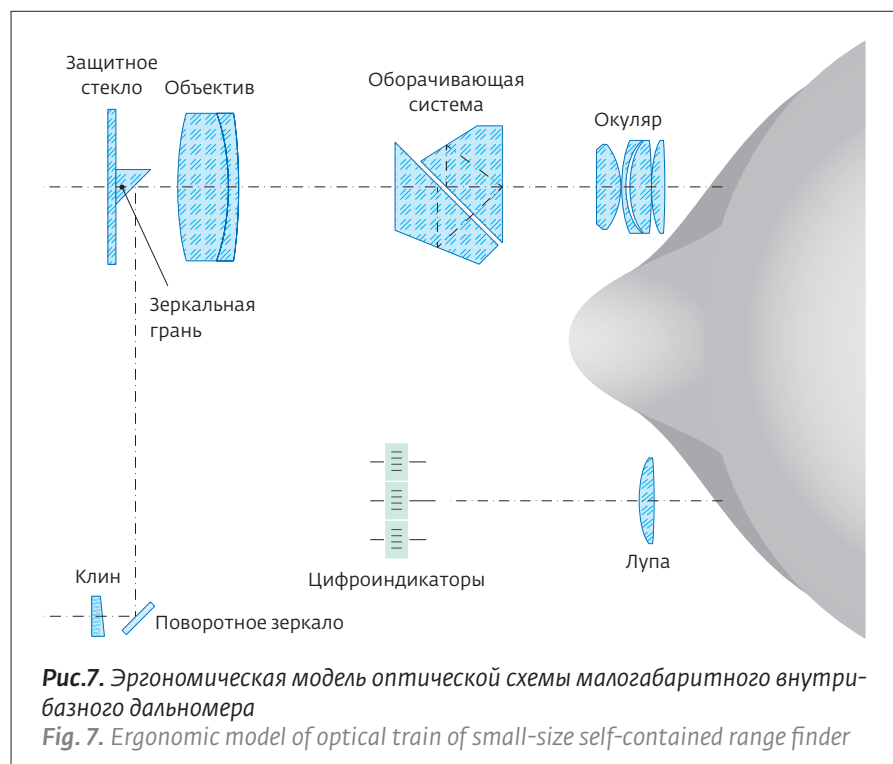


Вакуумное оборудование для оптики и микроэлектроники
 Проектирование и производство вакуумных напылительных установок «под ключ»
 In-line системы



ООО «Изовак», ул. М. Богдановича, 155-907,
 220040, Минск, Беларусь, тел.: +375-17-2931842, факс: +375-17-2931845

www.izovac.com



ном (согласно рис.8) направлении осуществляется посредством небольшого перемещения правого конца рычага, жестко связанного с зеркалом.

Клин, расположенный перед нижним зеркалом, предназначен для юстировки дальномера. Поворотом клина вокруг оптической оси канала добиваются расположения дополнительного изображения на одном уровне с основным. После этого клин фиксируется и далее в процессе измерения остается неподвижным. При повороте оси резистора на некоторый угол по резьбовому соединению "рычаг – ось резистора" происходит перемещение конца рычага.

Начальное положение правого конца рычага выставляется путем сведения в одно обоих изображений на бесконечности. Перемещение правого конца рычага вниз приведет к повороту зеркала и совмещению изображений объекта находящегося на уменьшенном расстоянии.

Определение дистанции внутрибазным методом производится исходя из следующих зависимостей. Минимальная угловая величина (дискретность) поворота оси резистора равна

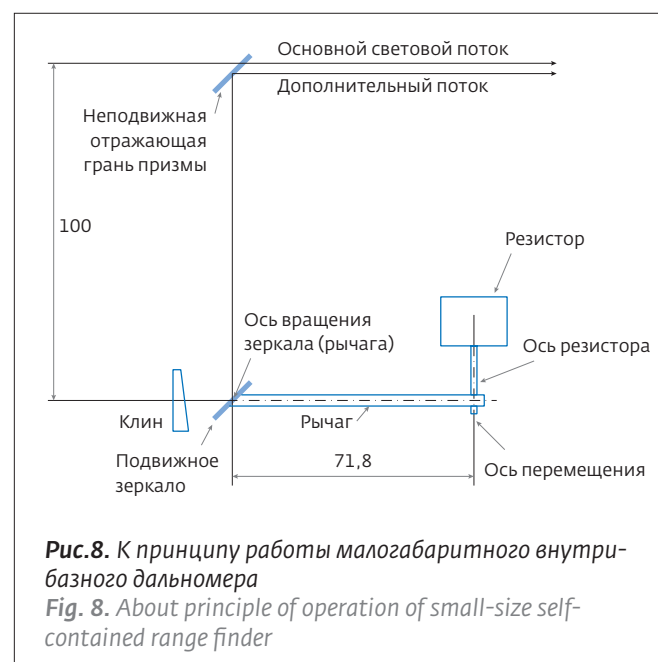
$$\delta\varphi = \varphi \cdot K_{\text{погр}},$$

где φ – полный угол поворота оси резистора, принятый для данной схемы 320° ;
 $K_{\text{погр}}$ – нелинейность резистора.

Минимально регистрируемый угол поворота зеркала $\delta\varphi$ определяется Δ_r – линейным перемещением конца рычага, которое, в свою очередь, зависит от шага резьбы втулки на конце рычага, l_p и b_p – плеча рычага (расстояния от оси вращения рычага до точки соединения с осью резистора, равного в предложенной схеме 71,8 мм). Этому углу поворота зеркала соответствует удвоенный угол поворота дополнительного светового потока.

Точность измерений дистанции внутрибазным дальномером целесообразно оценивать по двум составляющим линейной теоретической погрешности дальномера: оптической в соответствии с формула (2) и электронной, исходя из выражения для минимально реги-

стрируемого электроникой угла параллакса при повороте линии визирования $\Delta\epsilon$. Сопоставление численных значений электронной и оптической составляющих линейной теоретической погрешности показывает значительное возрастание их различий с увеличением измеряемой дистанции. Это компенсируется изменением конструктивных параметров системы, например умень-





шением шага резьбы втулки на конце рычага, а также применением резистора с меньшей нелинейностью.

С учетом этих рекомендаций, приняв для схемы дальномера, представленной на рис.6, $K_{\text{погр}} = 0,1\%$ и $l_p = 0,25$ мм, электронная и оптическая составляющие линейной теоретической погрешности примут следующие значения: для $L = 100$ м оптическая составляющая равна 0,5 м, электронная составляющая 0,6 м; для $L = 600$ м оптическая составляющая равна 18 м, электронная составляющая 21,6 м. Расчеты показывают, что составляющие практически равны и составляют порядка 0,6% для дистанции 100 м и 3,6% – для дистанции 600 м.

Связывая нелинейность резистора зависимостью с параметрами дальномера, приравняем минимальный регистрируемый электроникой параллактический угол поворота линии визирования к минимальному изменению параллактического угла, обнаруживаемого глазом через визирный канал дальномера. Подставив конкретные значения конструктивных величин, получим значение нелинейности резистора равно $K_{\text{погр}} = 0,00056$ (0,056%).

При такой нелинейности резистора электронная составляющая линейной теоретической погрешности дальномера будет равна оптической составляющей, а выбор значений $K_{\text{погр}}$ при проек-

тировании дальномеров такого типа рекомендуется выбирать из следующего диапазона:

$$K_{\text{погр}} = (0,5 \div 2,0) \cdot \frac{0,01 \cdot b_p}{\Gamma \cdot \varphi \cdot l_p}.$$

Таким образом, хотя на сегодняшний день самыми легкими и малогабаритными являются лазерные дальномеры, которые легко встраиваются в самые различные приборы, можно с уверенностью сказать, что оптические дальномеры не потеряли своей актуальности, а в целом ряде случаев являются наиболее предпочтительными. Рассмотренные методы построения пассивных оптических дальномеров дают направления совершенствования этого класса систем дальнометирования в современных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Медведев А.В., Гринкевич А.В., Князева С.Н.** Практика конструктора оптико-электронной техники и техники ночного видения. – ОАО "Ростовский оптико-механический завод", ОАО "Ярославский полиграфкомбинат", 2013.
2. **Грэйм И.А.** Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. – М.: Недра, 1983.
3. **Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пурыев Д.Т.** Оптические измерения; учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1987, с. 15–17.
4. **Шульман М.Я.** Фотоаппараты. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984.

INTERNATIONAL CONFERENCE "COMBUSTION PHYSICS & CHEMISTRY"

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева и Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН приглашают к участию в международной конференции "Физика и химия горения" (International Conference "Combustion Physics & Chemistry"), которая пройдет в Самаре 24–28 июля 2018 года.

Цель конференции: содействие научному обмену и сотрудничеству между учеными, специализирующимися в области физики и химии горения по всему миру.

На конференции планируется обсуждение фундаментальных и прикладных вопросов по следующим направлениям:

- Фундаментальные физико-химические процессы при горении.
- Квантово-химические исследования поверхностей потенциальной энергии химических реакций в пламени.

- Кинетика и динамика элементарных процессов.
- Математическое моделирование процессов горения.
- Динамика и структура пламени.
- Лазерная и оптическая диагностика процессов горения.
- Химическое, плазменное и лазерное инициирование горения.
- Формирование и разрушение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), сажи, графена и углеродистых наночастиц.
- Хроматография и методы измерения.
- Экологические проблемы, связанные с горением.

В рамках конференции пройдет Международная молодежная летняя научная школа "Современные методы квантовой химии

в приложениях".

По результатам конференции планируется издание электронного сборника тезисов, материалы, отобранные программным комитетом, будут рекомендованы к публикации в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, в частности, в журнале "Краткие сообщения по физике".

Рабочий язык конференции – английский.

Подробная информация и регистрация участников на сайте конференции: <http://comphyschem.ssau.ru/en/>

Основные даты:

- регистрация до 15 января 2018;
- подача тезисов до 15 марта 2018.

Контакты:

✉ comphyschem@gmail.com

(Александра Майорова);

✉ comphyschem@yandex.ru (Анна Гильдина).