



ДОСТОВЕРНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА

В. Вильнер, В. Волобуев, А. Ларюшин,
А. Рябокуль, ОАО "НИИ "Полюс"
им. М. Ф. Стельмаха", <http://www.polyus.info>

Рассмотрены особенности работы импульсных лазерных дальномеров на малых, средних и больших дальностях. Определены принципиальные различия работы в этих диапазонах. Обсуждаются пути расширения шкалы измеряемых дальностей, повышения точности и достоверности измерений в условиях внешних помех и разброса характеристик самого дальномера.

ЦЕЛИ И ПОМЕХИ

При проектировании лазерных дальномеров задают основную цель, для определения дальности до которой предназначен этот прибор. Одновременно принимают во внимание другие возможные цели, а также характер типовых объектов, маскирующих цель и создающих помехи при работе дальномера. Обычно рассматривают следующие цели.

Крупноразмерная цель – объект, угловые размеры которого превышают рабочее поле дальномера, образуемое диаграммой направленности зондирующего пучка и угловым полем зрения приемного канала. Соответственно, малоразмерная цель не превышает рабочего поля.

Основная цель – объект с заданными габаритами и коэффициентом яркости, для измерения дальности до которого в основном предназначен прибор. На малых дальностях угловые размеры основной цели превышают поле дальномера, и она становится для него крупноразмерной. В качестве основной цели часто задают эквивалентный прямоугольник габаритами 2×3 м с коэффициентом яркости около 0,2. В иностранных источниках указывается основная цель НАТО – квадрат 2,3×2,3 м с коэффициентом яркости 0,3. Ростовая фигура человека с габаритами 1,5×0,5 м или 1,75×0,75 м используется для оценки качества приборов ночного видения, прицелов и дальномеров с дальностью действия до 1000 м. Ландшафтные помехи типа "куст",

ACCURACY OF MEASUREMENTS OF THE PULSE LASER RANGEFINDER

V. Vilner, V. Volobuyev, A. Laryushin, A. Ryabokul
M. F. Stelmakh Polus Scientific Reserch Institute

Peculiarities of operation of the pulse laser rangefinders were considered on short, middle and long ranges. The fundamental differences of these range brackets were defined. Ways of the scale expansion of measured ranges, enhancement of measurement accuracy and reliability are being discussed under the conditions of external interference and rangefinder characteristics spread.

TARGETS AND INTERFERENCE

When designing the laser rangefinders the primary target is set; this device is intended for the determination of range on this target. At the same time other possible targets and nature of the standard objects which mask the target and jam during the operation of rangefinder are taken into account. The following targets are usually considered.

Large-sized target is the object angularities of which surpass the operational field of rangefinder formed by the directional pattern of probing beam and angular field of view of reception channel. Accordingly, small-sized target do not surpass the operational field.

Primary target is the object with designated dimensions and luminance factor; the device is mainly intended for the determination of range on this target. Angularities of the primary target surpass the rangefinder operational field on short ranges, and this target becomes large-sized for it. The equivalent rectangle with the dimensions of 2×3 m and luminance factor of about 0.2 is usually set as the primary target. Primary target of NATO – the square of 2.3×2.3 m with luminescence factor of 0.3 – is specified in foreign sources. The growing figure of human being with the dimensions of 1.5×0.5 m or 1.75×0.75 m is used for the quality assessment of night viewing devices, sights and rangefinders with the range of action up to 1000 m. Landscape interference of "bush", "grass", "terrain fold" types are not standardized in relation to the dimensions but they often occur in reality and have to be taken into account when designing and applying the rangefinders.

"трава", "складка местности" не стандартизованы по габаритам, но часто встречаются на практике и должны учитываться при проектировании и применении дальномеров.

Системы предупреждения столкновений летательных аппаратов предназначены для обнаружения проводов, мачт, антенн и т.п., и дальномеры таких систем должны обнаруживать перечисленные "узкие" цели на заданных дальностях.

Помеха обратного рассеяния обусловлена отражением зондирующего пучка аэрозольными неоднородностями атмосферы и обычно имеет вид, представленный на рис.1. Одно деление осциллографа равно 0,5 мкс. Таким образом, важно не только обеспечить энергетический потенциал дальномера, достаточный для измерений во всем заданном диапазоне дальностей, но и предусмотреть методы селекции цели при наличии помех, в том числе автоматические методы, поскольку помехи не всегда наблюдаемы, и оператор не может выделить цель на их фоне.

МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ ЦЕЛЕЙ

На рис. 2 представлена схема локационной трассы с наиболее часто встречающимися помехами и соответствующие сигналы на входе и выходе порогового устройства. При вертикальном зондировании подстилающей поверхности с борта летательного аппарата помехоцелевая обстановка принципиально остается такой же, хотя характер помех и их относительное влияние могут несколько отличаться.

Для борьбы с указанными помехами наиболее часто применяются следующие методы селекции [1]:

- ограничение минимальной измеряемой дальности (стробирование);
- выбор цели по ее порядковому положению (первая, вторая, последняя цель);

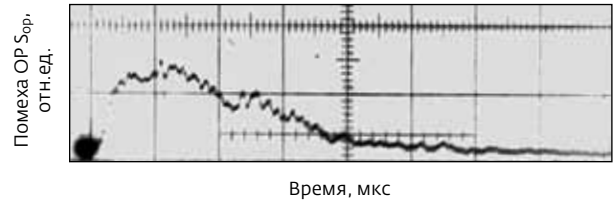


Рис.1. Помеха обратного рассеяния (ОР)
Fig. 1. Backscatter echo

Systems of warning of the aircraft collisions are intended for finding the wires, masts, antennas etc., and the rangefinders of such systems have to find the listed "narrow" targets on designated ranges.

Backscattering interference is caused by the reflection of probing beam by the atmosphere aerosol irregularities and usually has an appearance given in Figure 1. One point of oscilloscope is equal to 0.5 μ s. Thus, it is important not only to provide the rangefinder with the energy potential which will be sufficient for the measurements in the designated range bracket but also to contemplate the target selection methods upon the interference including the automatic methods because interference is not always observed and operator cannot identify the target on the background of interference.

METHODS OF TARGET SELECTION

The diagram of location route with the most frequent interference and relevant input and output signals of the threshold device are given in Figure 2. Upon the vertical depth probing of underlying surface from the aircraft side, the interference-target situation remains the same in essence, though the nature of interference and its relative influence can slightly differ.

The following selection methods are the most used for the interference suppression [1]:

- restriction of minimal measurable range (strobing);

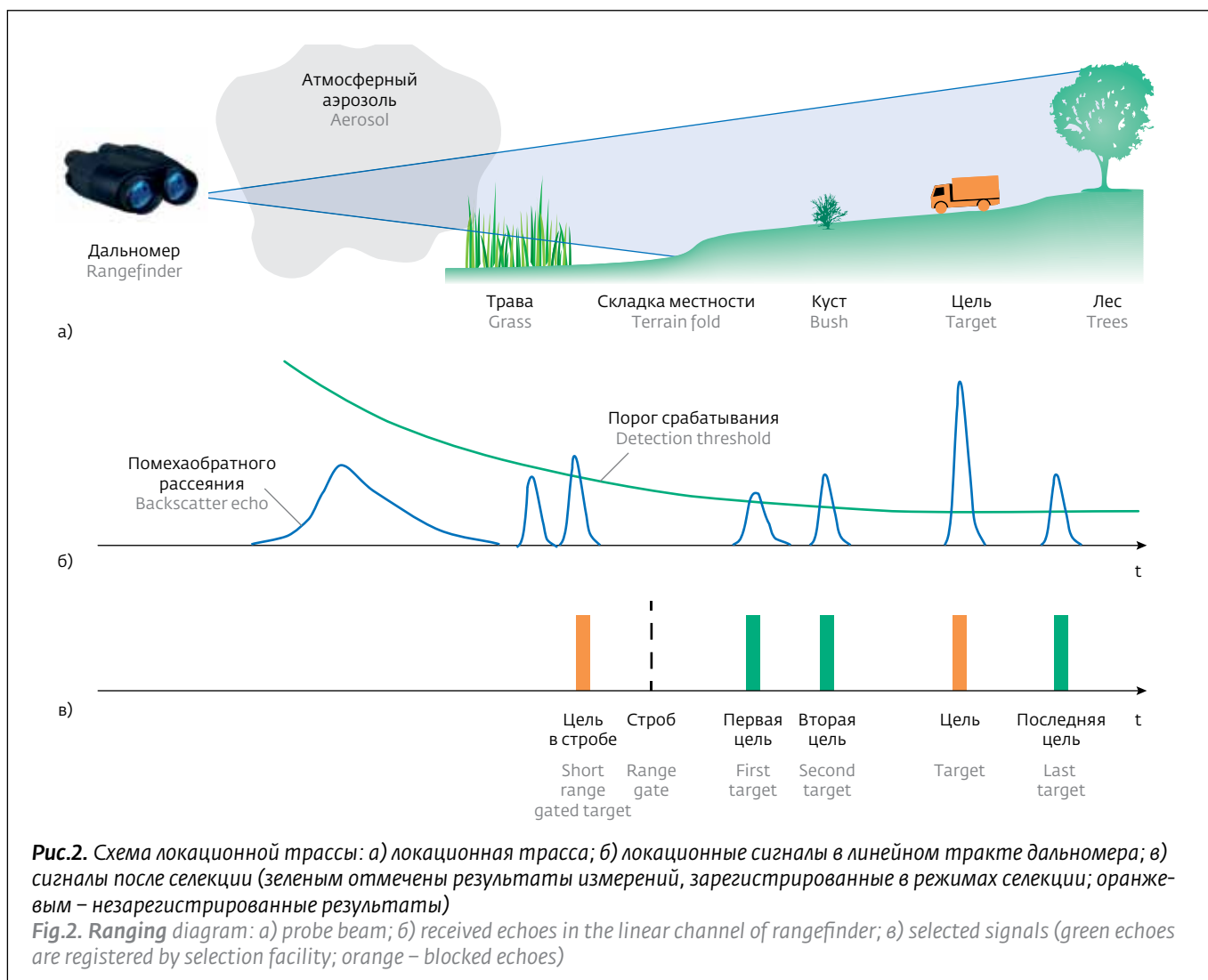


Рис.2. Схема локационной трассы: а) локационная трасса; б) локационные сигналы в линейном тракте дальномера; в) сигналы после селекции (зеленым отмечены результаты измерений, зарегистрированные в режимах селекции; оранжевым – незарегистрированные результаты)

Fig.2. Ranging diagram: а) probe beam; б) received echoes in the linear channel of rangefinder; в) selected signals (green echoes are registered by selection facility; orange – blocked echoes)

- селекция сигналов по их форме; этот метод наиболее эффективен для борьбы с протяженными помехами, в основном с помехой обратного рассеяния;
- амплитудная пороговая селекция (временная автоматическая регулировка усиления или порога);
- амплитудная селекция цели по максимальному отраженному сигналу (с поправкой на зависимость амплитуды от дальности);
- амплитудно-временная полуавтоматическая селекция с учетом априорной информации о дальности до выбранной цели.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ

Ясно, что от построения и способа наведения энергетического поля дальномера на цель зависит наличие и амплитуда сигналов, отраженных целью и помехами. В представленной конфигурации

- selection of target according to its ordinal position (first, second, last target);
- selection of signals according to their form; this method is the most efficient for the suppression of extensive interference, particularly, backscattering interference;
- amplitude threshold selection (time automatic adjustment of amplification or threshold);
- amplitude selection of target according to the maximum echoed signal (adjusted for the dependence of amplitude on range);
- amplitude-time semiautomatic selection considering the a priori information of the range to selected target.

SPATIAL SELECTION

It is clear that the availability and amplitude of signals echoed by the target and interference depend on the formation and method of targeting of the rangefinder

в поле зрения дальномера наряду с целью попали куст, лес и трава, а также невидимые в визир аэрозольное облако и складка местности, указанные на рис.2. Оператор может вывести из поля дальномера помехи, расположенные ближе и дальше цели, как показано на рис.3, учитывая, что разрыв перекрестия сопряжен с границами поля дальномера. Далее, пользуясь средствами амплитудной и временной селекции, можно выделить сигнал от цели ("первая цель" – рис.3б и "последняя цель" – рис.3в).

Стандартная цель на дальности 5 км имеет угловые размеры около 0,5 мрад. Для надежного наведения на цель, а не на впереди и сзади расположенные объекты, энергетическое поле дальномера должно размещаться в пределах этого угла и с достаточной точностью совпадать с прицельной маркой визира. Эти требования должны соблюдаться во всех температурных режимах работы дальномера и после воздействия на него механических эксплуатационных нагрузок. Данной задаче соответствует схема согласования визирного, приемного и передающего каналов дальномера, впервые успешно реализованная в дальномере LP-7 фирмы Simrad, Норвегия [2]. Эта схема и ее конструктивная реализация приведены на рисунках 4 и 5.

Особенность данного технического решения состоит в том, что прицельная марка, образованная разрывом перекрестия окулярной сетки, точно сопряжена с полем зрения приемного канала. Это обеспечивается нерасстраиваемой конструкцией склеенной призменной оборачивающей системы Порро второго рода (см. рис.5), включающей собственно оборачивающую систему и склеенный

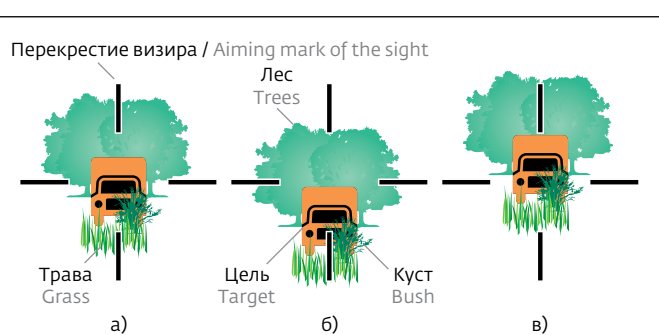


Рис.3. Поле зрения дальномера: а) центральное наведение на цель – в рабочем поле дальномера присутствуют цель и помехи; б) наведение в режиме "первая цель" – из рабочего поля выведены ближе расположенные помехи; в) наведение в режиме "последняя цель" – из рабочего поля выведены далее расположенные помехи

Fig. 3. The rangefinder field of view: а) central aiming – the rangefinder field covers both target and foreign objects; б) aiming in the mode "the first target" – nearest objects are removed from the rangefinder field of view; в) aiming in the mode "the last target" – farther objects are removed from the field of view

energy field. Bush, forest and grass, aerosol cloud and terrain fold which are not visible through the sight came into the rangefinder field of view together with the target in presented configuration as indicated in Figure 2. Operator can remove the interference of the rangefinder field which is located closer to and farther from the target as shown in Figure 3, taking into account that the crosswire gap is conjugated with the rangefinder field limits. Then, using the means of amplitude and time selection it is possible to extract the signal from target ("first target", see Figure 3b and "last target", see Figure 3c).

с ней спектроделительный кубик с сеткой окуляра и полевой диафрагмой приемного канала дальномера, расположенных в соответствующих фокальных плоскостях приемного объектива с учетом разделяемых кубиком длин волн. К совмещенной оси этой системы привязана оптическая ось излучателя, в общем случае с ошибкой, показанной на рис.6. Ось излучателя в наибольшей степени подвержена разъюстировкам, однако, как видно из рисунка, это не может привести к нарушению работы дальномера, поскольку его рабочее поле формируется полем приемника, сопряженным с разрывом прицельного перекрестия, в любом случае располагаемого оператором в границах цели.

Таким образом, при заданных угловых размерах цели целесообразно иметь угол поля зрения приемника и, соответственно, угловой размер разрыва перекрестия близкими к угловому размеру основной цели на максимальной дальности. Обычно этот угол задается в пределах 0,5-1 мрад, а для дальномеров, предназначенных для измерения дальностей в пределах 0,5-2 км, он может достигать 2-5 мрад. Расходимость лазерного излучения должна быть больше этой величины на величину допуска на непараллельность лазерного и визирного каналов, устанавливаемую по результатам испытаний.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ДАЛЬНОМЕРОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ЛАЗЕРАМИ

По сравнению с твердотельными импульсными лазерами полупроводниковые лазеры обладают рядом достоинств: миниатюрные габариты, простое управление накачкой, большую частоту повторения импульсов, высокий КПД и малые значения питающих напряжений. Вместе с тем эти приборы имеют существенные недостатки: ограниченную мощность и большую расходимость выходного излучения, что заставляет применять сложную оптику и компенсировать дефицит энергии зондирующего излучения, используя метод некогерентного накопления [3]. Этот метод предполагает:

- многократное повторение измерений;
- накопление и хранение локационной информации в запоминающих устройствах – каналах дальности, соответствующих порядковому номеру времязадающего тактового импульса измерителя временных интервалов относительно момента излучения зондирующего сигнала;

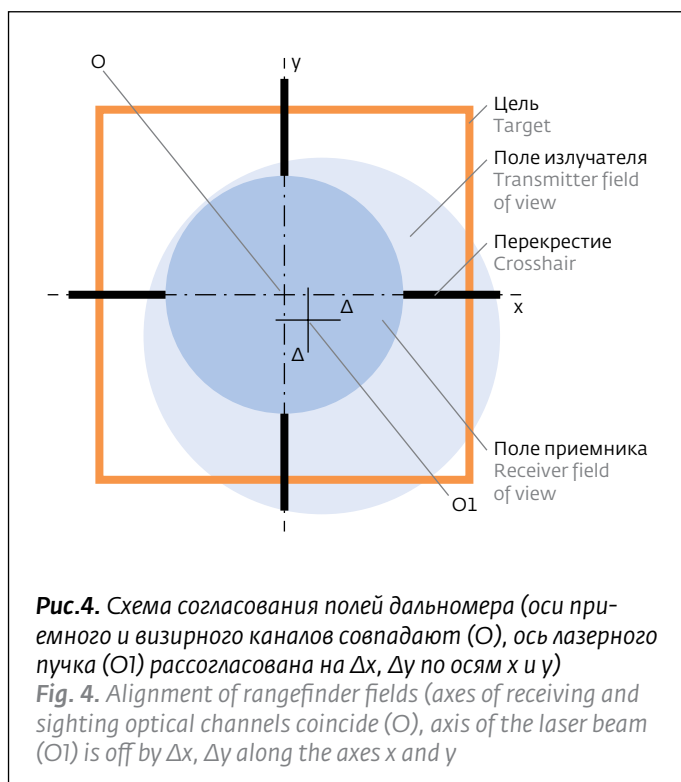


Рис.4. Схема согласования полей дальномера (оси приемного и визирного каналов совпадают (O), ось лазерного пучка (O1) рассогласована на Δx , Δy по осям x и y)
Fig. 4. Alignment of rangefinder fields (axes of receiving and sighting optical channels coincide (O), axis of the laser beam (O1) is off by Δx , Δy along the axes x and y)

Standard target on the range of 5 km has angularities of about 0.5 mrad. For the accurate targeting not in front of or behind the located objects, the energy field of rangefinder should be located within this angle and with sufficient accuracy coincide with the aiming mark of the sight. These requirements should be followed under all temperature conditions of the rangefinder operation and after action of the mechanical working loads. The scheme of adjustment of the sighting, reception and transmitting channels of the rangefinder corresponds to this task; this scheme was successfully implemented in the LP-7 rangefinder of Simrad, Norway [2]. This scheme and its constructive implementation are given in Figures 4 and 5.

Special feature of such engineering solution is that the aiming mark, which was formed by the graticule crosswire gap, is accurately conjugated with the reception channel field of view. Unbreakable construction of the glued Porro prism erecting system of the second class (Fig. 5) ensures it; this system includes the erecting system itself and spectrum-dividing block glued to it with the graticule and field stop of the rangefinder reception channel which are located in the relevant focal planes of receiving lens considering the wave lengths divided by block. Radiator optical axis is tied to the matched axis of this system generally

- корреляционную или иную обработку массива накопленных данных с целью выделения отраженного целью сигнала;
- временную привязку выделенного сигнала к тактовой последовательности времязадающих импульсов.

УГЛОВАЯ СЕЛЕКЦИЯ ЦЕЛЕЙ В ДАЛЬНОМЕРАХ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ЛАЗЕРОМ

Поперечное сечение локационной трассы в картинной плоскости дальномера имеет вид, представленный на рис.3. Поле зрения передающего канала представляет собой изображение излучающих переходов полупроводникового лазера в картинной плоскости дальномера. Поле зрения приемного канала образовано проекцией приемной площадки фотоприемника, изображаемой в картинную плоскость дальномера приемным объективом. Центр поля зрения приемного канала является осью дальномера. Центр симметрии передающего канала в общем случае смещен относительно оси дальномера на углы Δx и Δy в координатах картинной плоскости дальномера x и y .

На дальностях порядка 1 км большинство целей такого дальномера являются крупноразмерными. В частности, для высотомера, установленного на летательном аппарате (ЛА), целью является разрешаемый элемент подстилающей поверхности. При указанном на рис.6 взаимном положении полей приемного и передающего каналов поперечные размеры разрешаемого элемента определяются диаметром поля приемного канала, а продольные – временем накопления

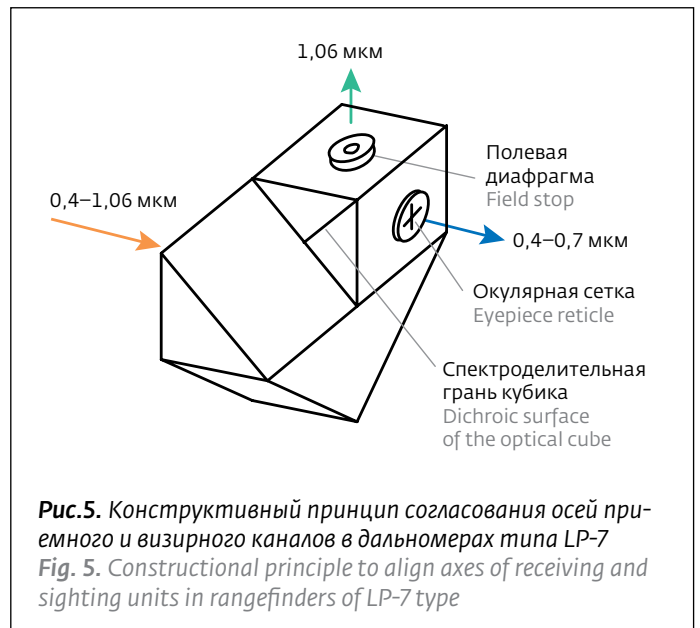
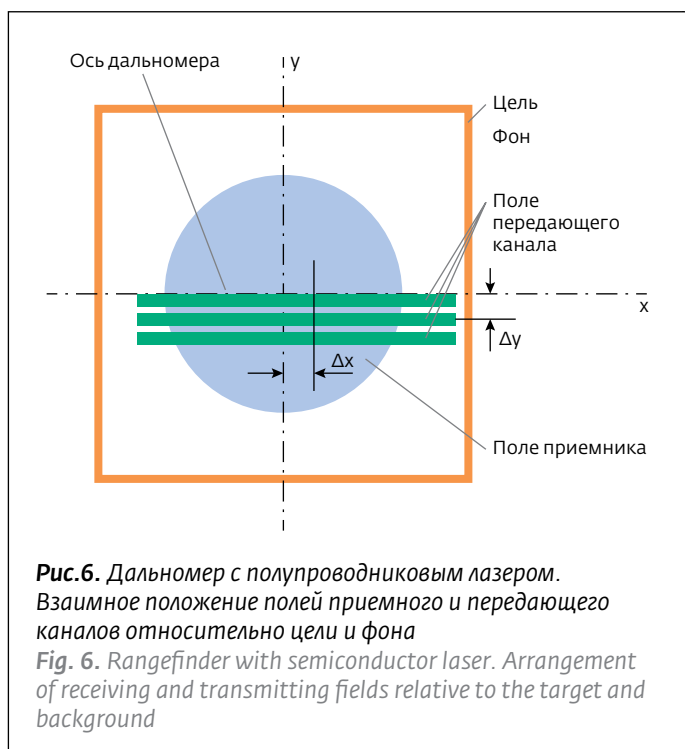


Рис.5. Конструктивный принцип согласования осей приемного и визирного каналов в дальномерах типа LP-7
Fig. 5. Constructional principle to align axes of receiving and sighting units in rangefinders of LP-7 type

with the error specified in Figure 6. Radiator axis is subjected to misalignments to the maximum extent, however as you can see in figure, it cannot lead to the rangefinder disfunction because its operational field is formed by the receiver field conjugated with the sighting crosswire gap which is located within the target limits by operator under any circumstances.

Thus, upon the designated angularities of target it is reasonable to have the values of angle of the receiver field of view and angularity of crosswire gap respectively close to the angularity of primary target on maximum range. Usually this angle is preset within the limits of 0.5-1 mrad and for the rangefinders intended for range measurement



$T_{\text{нак}}$, за которое ЛА сместится на расстояние $L_{\phi} = T_{\text{нак}} \cdot V_{\Gamma}$, где V_{Γ} – горизонтальная составляющая скорости ЛА. Исходя из этого, устанавливают параметры оптической системы и требования к ее юстировке.

СЕЛЕКЦИЯ ЦЕЛЕЙ ПО ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА

Выше отмечено, что помеха обратного рассеяния (ОР) может быть уменьшена путем ограничения полосы пропускания усилителя. Длительность помехи обратного рассеяния составляет 1-2 мкс. Ее спектр $S_{\text{ор}}$ занимает спектральный диапазон от 0 до 300 кГц. При длительности зондирующего сигнала 100 нс верхняя граничная частота его спектра S_c составляет 3 МГц.

Как видно из рис.7, ограничение полосы пропускания приемного тракта снизу на уровне $F_{\text{н}} \sim 0,3$ МГц позволяет подавить помеху обратного рассеяния в несколько раз. При этом отношение сигнал/шум практически не ухудшается. Ограничение полосы пропускания сверху на уровне $F_{\text{в}}$ необходимо для подавления высокочастотных составляющих шума. Следует отметить, что низкочастотная фильтрация эффективна для подавления сигнала от крупномасштабных атмосферных неоднородностей, но не ослабляет флуктуаций ОР, обусловленных локальными неоднородностями атмосферы, например дымами, клубами пыли и т.п.

within the limits of 0.5-2 km it can reach 2-5 mrad. Divergence of the laser emission must be larger than this value by the value of tolerance of laser and sighting channels angular misalignment which is determined according to the test results.

PECULIARITIES OF FORMATION AND APPLICATION OF THE RANGEFINDERS WITH SEMICONDUCTOR LASERS

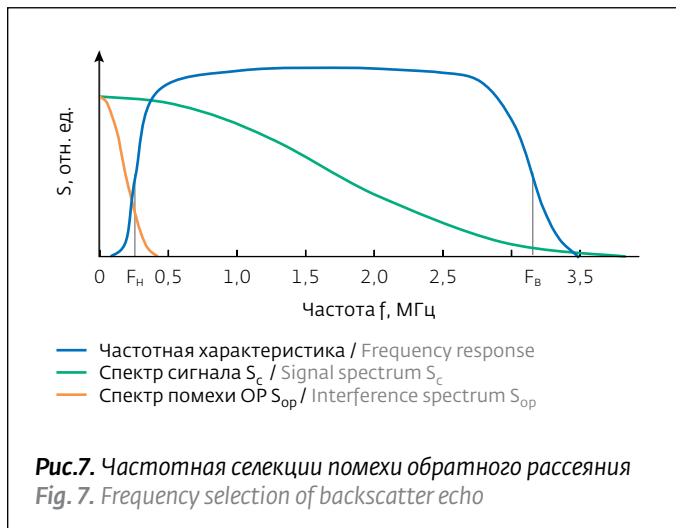
In comparison with the solid-state pulse lasers the semiconductor lasers have a number of advantages: micro-sized outside base, simple pumping control, high pulse repetition frequency, high coefficient of efficiency and low values of supply voltages. Therewith, these devices have considerable disadvantages: limited capacity and high divergence of the output emission which cause the usage of complex optical devices and compensation of the probe radiation energy shortage using the incoherent storage method [3]. This method contemplates:

- multiple repetition of measurements;
- accumulation and storage of location information in memory devices – range channels – which correspond to the sequence number of time-setting clock pulse of the intervalometer in relation to the probing signal emission moment;
- correlation or other processing of the accumulated data array for the purpose of extraction of signal which was echoed by the target;
- timing of the extracted signal to the clock train of time-setting pulses.

ANGULAR SELECTION OF TARGETS IN THE RANGEFINDERS WITH SEMICONDUCTOR LASER

The location route cross-section in the perspective plane of rangefinder has an appearance given in Figure 3. Transmitting channel field of view represents the image of emitting transitions of semiconductor laser in the perspective plane of rangefinder. Reception channel field of view is formed by the projection of receiving site of photodetector imaged in the perspective plane of rangefinder by the receiving lens. Center of the reception channel field of view is the axis of rangefinder. Center of symmetry of the transmitting channel is generally shifted in relation to the rangefinder axis at angles of Δx and Δy in x and y coordinates of the rangefinder perspective plane.

At ranges of approximately 1 km majority of the targets of such rangefinder are large-sized. Particularly, for the altimeter installed on aircraft the target is the resolution element of underlying surface. Upon the relative position of reception and transmitting channels fields specified in Figure 6 the lateral dimensions of



ТОЧНОСТЬ ВРЕМЕННОЙ ФИКСАЦИИ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА

В дальномерах первых поколений момент приема отраженного целью сигнала обычно фиксировался по пересечению порога срабатывания фотоприемного устройства фронтом принятого сигнала. При изменении амплитуды сигнала в широких пределах нестабильность временной фиксации равна длительности фронта, достигающей 10–100 нс, что соответствует ошибке дальности до 0,5–5 м. При повышенных требованиях к точности измерений это недопустимо, поэтому в таких случаях применяют методы фиксации, мало критичные к изменениям амплитуды сигнала [4]. Наиболее распространен метод пересечения нуля [5] (рис. 8). Известны также его модификации, позволяющие расширить границы применимости этого метода [9].

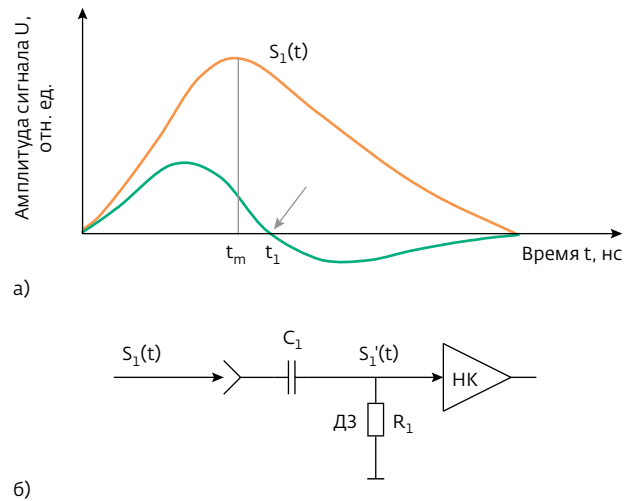
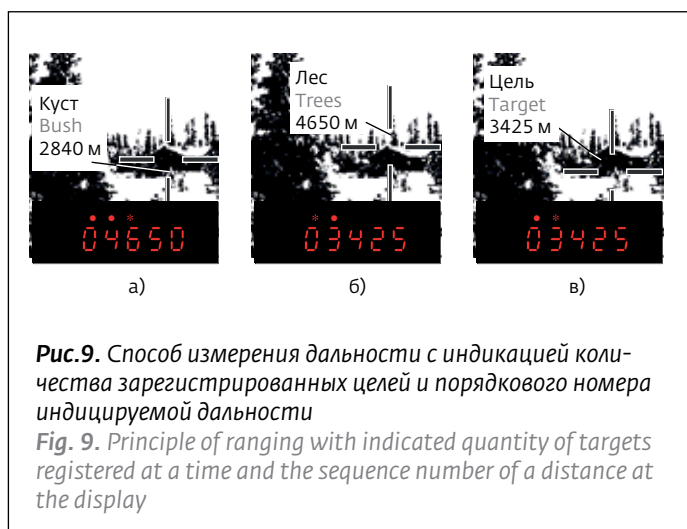


Рис.8. Метод пересечения нуля: а) временная фиксация принимаемого сигнала ($S_1(t)$ – сигнал на входе ДЗ; $S_1'(t)$ – сигнал на входе нуля-компаратора НК; t_m – положение максимума; t_1 – результат временной привязки); б) устройство временной привязки с дифференцирующим звеном ДЗ и нуля-компаратором

Fig. 8. Method of zero-axis crossing: а) time positioning of the received signal ($S_1(t)$ – signal at the input of differentiator; $S_1'(t)$ – signal at the input of zero-comparator; t_m – position of maximum; t_1 – result of time positioning); б) time positioning circuit including differentiator and zero-comparator

resolution element are determined through the diameter of reception channel field, and the longitudinal dimensions are determined through the storage time $T_{нак}$ during which aircraft will shift at the distance $L_{\phi} = T_{нак} \cdot V_r$, where V_r is the horizontal component of aircraft speed. On its basis the parameters of optical system and requirements to its adjustment are set.



ТОЧНОСТЬ ВРЕМЕННОЙ ФИКСАЦИИ МАССИВА НАКОПЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

При работе в режиме накопления устанавливают длительность зондирующего импульса в несколько (2-10) раз больше длительности периода дискретизации ИВИ. При этом накопленная информация об отраженном сигнале хранится в нескольких каналах дальности. Известны методы оценки временного положения такого "длинного" массива накопленных данных [3]. Согласно одному из технических решений, временная привязка накопленного массива данных осуществляется как проекция на временную ось точки пересечения касательных к переднему и заднему "фронтам" накопленного массива [7]. Этот метод имеет недостатки. Во-первых, "фронты" массива не поддаются точной интерпретации, и положение касательных к ним устанавливается неоднозначно. Во-вторых, форма огибающей массива существенно зависит от величины сигнала. В результате временная привязка по этому методу имеет значительный разброс, особенно при больших сигналах.

Эти недостатки устранены методом временной привязки массива данных [8] путем определения положения его первого начального момента (центра тяжести), вычисляемого по формуле

$$T_3 = \left\{ (j-p) \frac{\sum_{l=1}^{q-1} k_{j-m+l} K_{j-m+l}}{\sum_{l=1}^q k_{j-m+l+l} K_{j-m+l+l}} \right\} \Delta T,$$

где: j – номер временной дискреты, в которой накопленная сумма максимальна;
 $K_{(a)}$ – накопленная сумма в (а)-й дискрете;
 $k_{(a)}$ – весовой коэффициент (а)-й дискреты; при

TARGET SELECTION ACCORDING TO THE ECHOED SIGNAL DURATION

It was mentioned above that the backscattering (BS) interference can be reduced through the restriction of amplifier pass band. Backscattering interference duration is 1-2 μ s. Its spectrum S_{op} lies within the range from 0 to 300 kHz. Upper frequency limit of its spectrum S_c is 3 MHz under the probing signal duration of 100 ns.

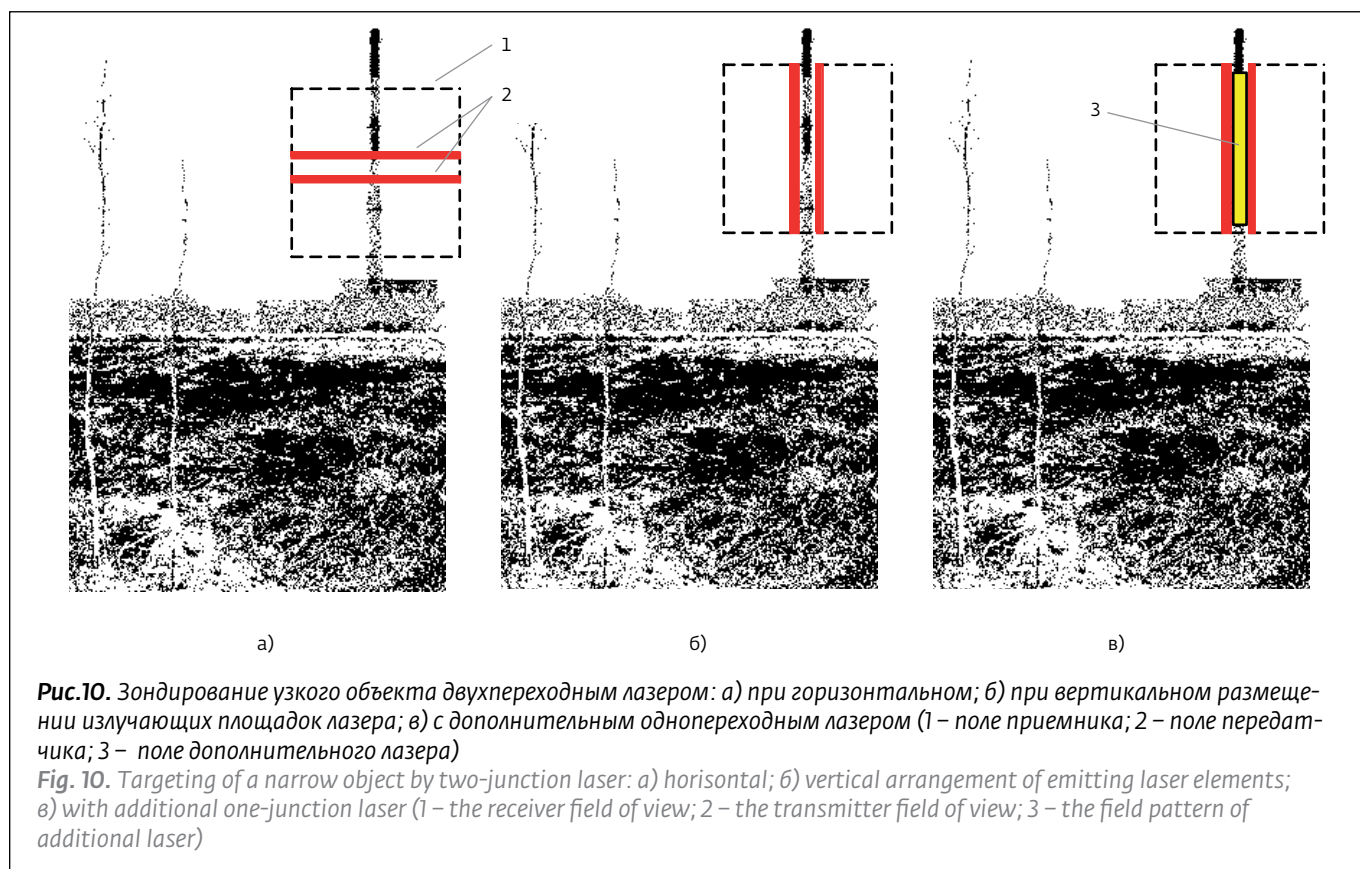
As it is seen from Figure 7, the restriction of pass band of the reception path from the bottom at level $F_n \sim 0.3$ MHz makes it possible to suppress the backscattering interference by several times. Herewith, the signal/noise ratio practically does not become worse. The restriction of pass band from above at level F_b is necessary for the suppressing the high-frequency components of noise. It should be noted that low-frequency filtration is effective for the signal suppression from large-sized atmosphere irregularities but it does not reduce the backscattering fluctuations caused by the local atmosphere irregularities, for example, by smoke, clouds of dust etc.

ACCURACY OF TIME FIXATION OF THE RECEIVED SIGNAL

The moment of reception of the signal echoed by the target usually was fixed according to the crossing of photodetector differential by the received signal edge in rangefinders of the first generation. When changing the signal amplitude within wide limits, the instability of time fixation is equal to the acceleration time which reaches 10-100 ns, it corresponds to the range error to 0.5-5 m. It is inadmissible under the increased requirements for the measurements accuracy that is why in such cases the fixation methods which are little critical to the signal swing are applied [4]. Zero-crossing method is the most widespread method [5] (Fig. 8). Its modifications, which make it possible to enlarge the boundaries of this method applicability, are also known [9].

ACCURACY OF TIME FIXATION OF ACCUMULATED INFORMATION ARRAY

When working under the conditions of accumulation the duration of probing pulse is established by several (2-10) times greater than the intervalometer epoch duration. Herewith, accumulated information of the echoed signal is stored in several range channels. Methods of time position evaluation of such "long" accumulated data array are known [3]. According to one of the engineering solutions, the timing of accumulated data array is implemented



неизвестном априорно положении сигнала можно принять $k_{(a)} = 1$;
 $m = \tau_{\text{фр}}/\Delta T$ – количество дискрет, соответствующих длительности переднего фронта лазерного импульса;
 $\tau_{\text{фр}}$ – длительность переднего фронта лазерного импульса;
 $q = \tau_{\text{и}}/\Delta T$ – количество дискрет, соответствующих длительности импульса;
 $\tau_{\text{и}}$ – длительность лазерного импульса;
 p – поправочное число, характеризующее точку временной привязки сигнала;
 ΔT – длительность дискреты.

as projection of the crossover point of tangents to the front and back "edges" of accumulated array on the time axis [7]. This method has disadvantages. First of all, the "edges" of array cannot be accurately interpreted, and position of tangents towards them is formed ambiguously. Second of all, the form of array envelope considerably depends on the signal magnitude. As a result, the timing according to this method has considerable spread especially upon high signals.

These disadvantages are removed by the method of data array timing [8] through the position determination of its primary moment (center

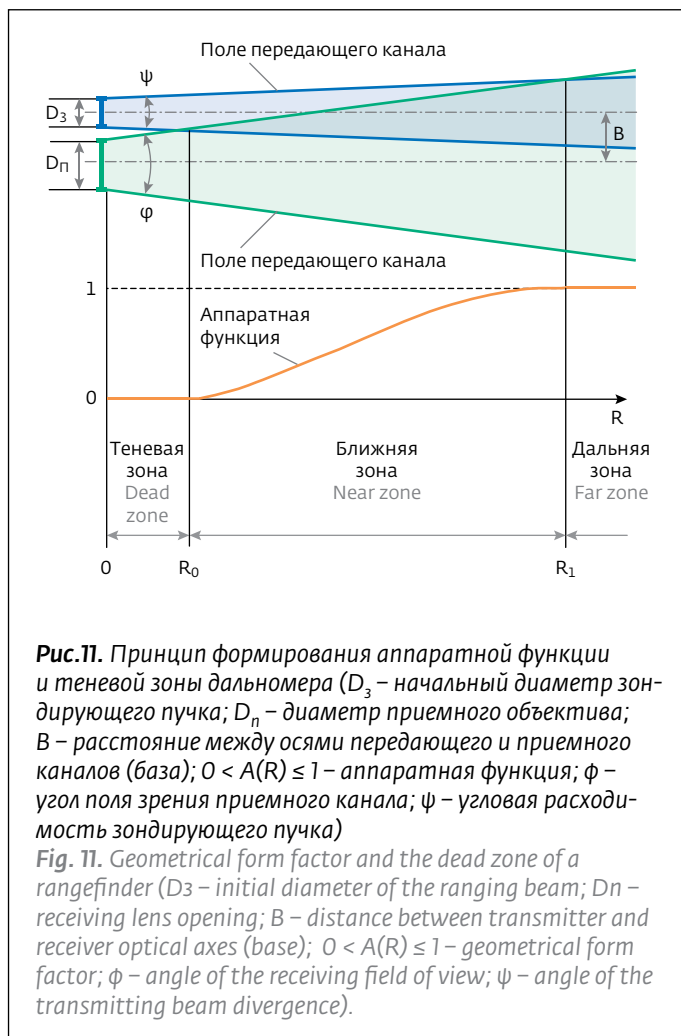
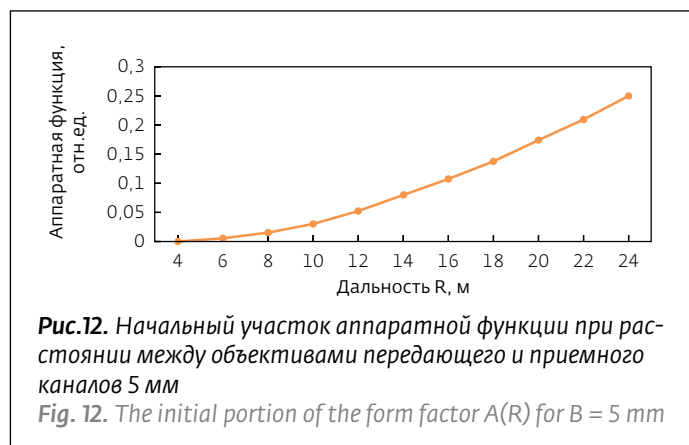
Указанный метод поддерживает высокую точность временной привязки не только в линейном диапазоне входного сигнала, но и при значительных перегрузках [3].

Кроме рассмотренного метода временной фиксации накопленного массива по его центру тяжести применяется традиционный метод определения положения максимума свертки массива накопленных данных с цифровым шаблоном зондирующего сигнала [9] и ряд его модификаций, например [10], позволяющих повысить однозначность, точность и чувствительность метода.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА БОЛЬШИХ ДАЛЬНОСТЯХ

При больших расстояниях до цели отраженный от нее сигнал уменьшается до шумового уровня, и особое значение приобретает энергетический потенциал дальномера, характеризуемый энергией и расходимостью зондирующего пучка, диаметром и светопропусканием приемного объектива, чувствительностью приемно-усилительного тракта. Но не меньшее значение приобретает эффективность средств селекции цели на фоне местных помех, эффективная отражающая поверхность которых может быть больше, чем у цели – малоразмерной на этих дальностях. Как видно из рис.2, совместное использование стробирования, автоматической регулировки порога, режимов селекции "первая", "вторая" и "последняя цель" оказались неэффективными, и выбранная для измерения цель осталась не выделенной этими средствами селекции, несмотря на большой уровень отраженного ей сигнала. В этом случае особое значение приобретают методы пространственной и амплитудно-временной [1] селекции.

При наведении по методу, иллюстрируемому рис.3б, можно вывести из поля дальномера



of gravity) which is calculated according to the following formula:

$$T_3 = \left\{ (j-p) \frac{\sum_{l=1}^{q-1} k_{j-m+l} K_{j-m+l}}{\sum_{l=1}^q k_{j-m+l+1} K_{j-m+l+1}} \right\} \Delta T,$$

where: j is the number of time discrete where the accumulated amount is maximal;
 $K_{(a)}$ is the accumulated amount in (a) discrete;
 $k_{(a)}$ is the weight coefficient of (a) discrete; upon the unknown signal position a priori we can assume that $k_{(a)} = 1$;
 $m = \tau_{фр} / \Delta T$ is the quantity of discretions which correspond to the duration of the front edge of laser pulse;
 $\tau_{фр}$ – is the duration of front edge of laser pulse;
 $q = \tau_{и} / \Delta T$ is the quantity of discretions which correspond to the pulse duration;

помехи, расположенные на меньших дальностях. В этом случае истинным результатом следует считать минимальную зарегистрированную дальность. При наведении по методу, иллюстрируемому рис.3в, основная цель становится последней в створе луча, и дальность до нее следует определять в режиме "последняя цель". Несмотря на эффективность указанного метода, наилучшим индикатором выбранной цели остается амплитуда отраженного сигнала, который обычно бывает больше, чем сигналы от помех. К сожалению, в существующих дальномерах селекция сигналов по амплитуде не практикуется, хотя при многопороговой обработке (которая, например, применяется при измерениях методом накопления) это не составляет технических проблем.

Существенную помощь оператору может дать дополнительная информация о количестве зарегистрированных дальномером целей и о порядковом номере выведенной на индикатор дальности [11].

Часто возникает сложная помеховая ситуация (рис.9): цель (дом на дальности 3425 м) частично экранирована помехой "куст" (2840 м) и расположена на фоне леса (4650 м). При центральном наведении на цель все три объекта попали в створ луча (рис.9а) и дали отсчеты дальности, зафиксированные в памяти прибора. Количество зарегистрированных дальностей отображается количеством светящихся точек – индикаторов целей. Последний из них мигает. Это свидетельствует о том, что выведенная на индикатор дальность 4650 м соответствует последнему из трех зарегистрированных результатов. Наведением по методу "первая цель" (рис.3б) оператор убирает из створа луча цель типа "куст". При этом на индикатор дальности он выводит первый из результатов измерения – 3425 м, а на индикаторах целей

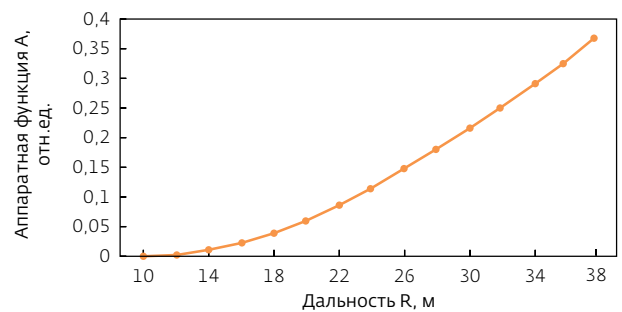


Рис.13. Начальный участок аппаратной функции при расстоянии между объективами передающего и приемного каналов 12 мм

Fig. 13. The initial portion of the form factor $A(R)$ for $B = 12$ mm

t_i – is the laser pulse duration;
 p is the correctional number which defines the point of signal timing;
 ΔT – is the discrete duration.

Specified method supports high timing accuracy not only in linear range of the input signal but also under considerable overloads [3].

Except considered method of time fixation of accumulated array according to its gravity center, the traditional method of determination of accumulated data array dispreading maximum with the figure template of probing signal [9] is applied as well as a number of its modifications, for example [10], which make it possible to increase the unambiguousness, accuracy and sensitivity of method.

Peculiarities of Measurements on Long Ranges

Upon long distances to the target the echoed signal decreases to the noise level, and the energy potential of rangefinder obtains special importance;

отображается количество целей (2) и отмечается первый порядковый номер выведенного результата. Наведением по методу "последняя цель" (рис.3в) оператор выводит из створа луча цель типа "лес". При этом на индикаторе дальности отображается последний из результатов измерения 3425 м, а на индикаторах целей высвечивается количество целей (2) и второй порядковый номер выведенного результата. Как показали полевые испытания, такой метод селекции целей обеспечивает оперативность измерений и высокую психологическую уверенность оператора в правильности полученного результата.

Наиболее сложно измерение больших дальностей до объектов, имеющих малые поперечные размеры – проводов, столбов, мачт и т.п. Это, например, бывает необходимо в системах предотвращения столкновений или при топопривязке по триангуляционным знакам. Часто сама цель бывает закрыта складками местности или растительностью, и для измерений остается доступной только его выступающая часть – труба, антенна, громоотвод и т.п.

Особенно серьезные проблемы возникают при зондировании такой цели полупроводниковым лазером. При поперечном к цели размещении излучающих площадок (рис.10а) на цель падает весьма незначительная часть излучения лазера, а при ориентации излучающих площадок параллельно цели она может вообще "провалиться" между ними (см. рис.10б).

Этот недостаток устраняется комбинацией двух лазеров с плотным заполнением передающего поля проекциями излучающих переходов [12]. Как видно (рис.10в), при таком размещении излучающих площадок по крайней мере одна из них полностью накрывает цель, обеспечивая тем самым высокий коэффициент использования зондирующего излучения.

На больших дальностях цель может проектироваться на небо и другие яркие источники фона, что осложняет условия обнаружения и опознавания цели и помех, затрудняет наведение на цель и требует мер по уменьшению отрицательного влияния фона на чувствительность приемного тракта.

ИЗМЕРЕНИЯ НА СРЕДНИХ ДАЛЬНОСТЯХ

Этот диапазон начинается с дальности, где помеха обратного рассеяния уже не оказывает влияния на приемный тракт, и заканчивается дистанцией, на которой угловые размеры основной цели становятся соизмеримыми с рабочим полем дальномера. Этот диапазон наиболее удобен для проведения

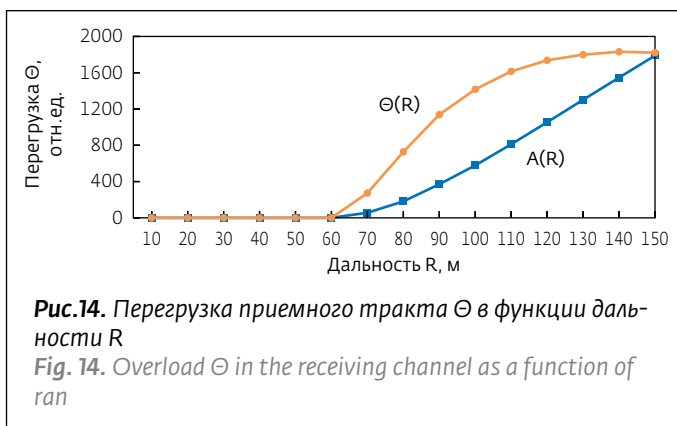


Рис.14. Перегрузка приемного тракта Θ в функции дальности R

Fig. 14. Overload Θ in the receiving channel as a function of range

this potential is characterized by the energy and divergence of probing beam, diameter and optical transmission of receiving lens, sensitivity of the receiving-amplifying path. But the efficiency of target selection means on the background of local interference obtains not less importance, and their efficient reflecting surface can be larger than the target surface which is small-sized on these ranges. As we see (Figure 2), the joint use of strobing, automatic thresholds regulation, "first", "second" and "last target" selection modes turned out to be inefficient, and the target which was selected for the measurement turned out to be not identified by these selection means despite high level of echoed signal. In this case methods of spatial and amplitude-time [1] selection obtain the special importance.

When targeting according the method illustrated in Fig. 3b it is possible to remove the interference located on shorter ranges from the rangefinder field. In this case minimal registered range should be considered the true result. When targeting according to the method illustrated in Fig. 3c the primary target becomes the last one in beam site, and the range should be determined in "last target" mode. Despite the efficiency of specified method, the best indicator of selected target remains the amplitude of echoed signal which is usually higher than the signals of interference. Unfortunately, selection of signals according to the amplitude is not used in existing rangefinders, though it is not technical problem under the multi-threshold processing (for example, which is applied when measuring by the accumulation method).

Additional information on the number of targets registered by rangefinder and sequence number of the displayed range can be great help for operator [11].



измерений как благодаря хорошей наблюдаемости цели и возможностям ее селекции на фоне помех, так и в силу благоприятных энергетических условий приема и обработки отраженного сигнала.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА МАЛЫХ ДАЛЬНОСТЯХ

На малых дальностях работа дальномера осложняется рядом неблагоприятных факторов.

С одной стороны, близко расположенные цели дают высокий уровень отраженного сигнала, перегружающего приемный тракт. Это ведет к ухудшению точности и разрешающей способности прибора.

Отчасти этот недостаток компенсируется неполным перекрытием полей приемного и передающего каналов на малых дальностях, характеризуемого коэффициентом перекрытия этих полей. Зависимость коэффициента перекрытия от дальности называется аппаратной функцией или геометрическим фактором [13, 14]. Механизм формирования аппаратной функции иллюстрируется рис.11.

На малых дальностях, где поля передающего и приемного каналов не пересекаются, $A(R)=0$. Диапазон дальностей $R \leq R_0$, где это имеет место,

Complicated interference situation often occurs (Fig. 9): the target (house on range of 3425 m) is partially shielded by the "bush" interference (2840 m) and located against the forest (4650 m). Upon the central targeting all three objects occurred to be on the beam site (Fig. 9a) and provided with the range readings registered in the memory device. Quantity of the registered ranges is represented by the quantity of luminous points – target indicators. The last indicator winks. It is evidence that the displayed range of 4650 m corresponds to the last of three registered results. When targeting according to the "first target" method (Fig. 3b), operator removes the target of "bush" type from the beam site. In this case the last result of measurements (3425 m) is displayed, and the quantity of targets (2) and the second sequence number of the determined result are shown on the target display. When targeting according to the "last target" method (Fig. 3c), operator removes the target of "forest" type from the beam site. In this case the last result of measurements (3425 m) is displayed, and the quantity of targets (2) and the second sequence number of the determined result are shown on the target display. As field tests have shown, this method of target selection provides with the



называется теневой зоной. Дальности $R > R_1$, где поля полностью перекрываются, названы дальней зоной. В дальней зоне $A(R)=1$. Промежуточный диапазон дальностей $R_0 < R \leq R_1$, где $0 < A(R) < 1$, определен как ближняя зона.

Обычно при построении дальномера по приведенной выше схеме теневая зона дальномера R_0 составляет 2–20 м в зависимости от взаимной конфигурации и оптических характеристик излучающего и приемного каналов. Примерный вид аппаратной функции представлен на графиках (рис.12 и 13). Следует отметить, что теневая зона аппаратной функции может быть значительно уменьшена при коаксиальном построении оптической схемы дальномера [15] или за счет введения дополнительных оптических элементов [16–18].

Требования к минимальной измеряемой дальности и точности измерений противоречивы. Первое из указанных требований заставляет уменьшать теневую зону дальномера, а второе – снижать уровень перегрузок приемного тракта отраженными сигналами, что предъявляет противоположные требования к аппаратной функции.

Дополнительным фактором, отрицательно влияющим на точность в ближней зоне, является различная модовая структура лазерного излучения в ближней и дальней зонах. Эти различия усугубляются влиянием частичного перекрытия полей излучающего и приемного каналов в ближней зоне. В результате этого в ближней зоне аппаратной функцией выделяются одни моды и подавляются другие. Разница во временном положении компонент излучения, соответствующих этим модам, может достигать 0,1–1 нс, что соответствует ошибке измерения дальности 0,01–0,2 м.

Существуют технические решения, направленные на уменьшение влияния указанного фактора [15]. Величину перегрузки приемного тракта можно определить следующим образом. Согласно уравнению локации, сигнал $E_{пр}$, поступающий в приемный канал от цели, обратно пропорционален квадрату дальности R :

$$E_{пр} = \Pi \cdot K(R) \tau_a / R^2,$$

где Π – постоянный коэффициент (потенциал), определяемый конструкцией и характеристиками дальномера, влияющими на величину принимаемого сигнала; $K(R)$ – коэффициент перекрытия пучка зондирующего излучения равномерно

measurements immediacy and high psychological confidence of operator in the correctness of obtained result.

Measurement of long ranges to the objects which have small lateral dimensions (wires, pillars, masts etc.) is the most difficult measurement type. For example, it can be necessary in the systems of interference protection, or upon the topographic precise positioning by the triangulation station marks. Often the target itself is closed by the terrain fold or vegetation, and only its projected part (pipe, antenna, lightning rod etc.) is available for the measurements.

Particularly serious problems occur when probing such target by the semiconductor laser. Upon the lateral positioning of the emitting planes to the target (Fig. 10a) the slight part of laser emission gets on the target but upon the parallel orientation of emitting planes to the target it can "fall" between them at all (Fig. 10b).

This disadvantage is removed by the combination of two lasers with solid filling of transmitting field by the emitting junction projections [12]. As we see (Fig. 10c) upon such placement of the emitting sites, at least one of them completely overlaps the target ensuring high coefficient of the probe radiation usage.

Target can be projected on the sky and other luminous background sources on long ranges; it complicates the conditions of finding and identification of target and interference, impedes the targeting and requires arrangements on the reduction of negative influence of background on the sensitivity of reception path.

MEASUREMENTS ON MIDDLE RANGES.

This range bracket starts from the range where the backscattering interference does not influence on the reception path, and ends with the range where the primary target angularities become commensurable with the rangefinder operational field. This range bracket is the most convenient for the measurements due to the good target observability and capabilities of its selection against the background of interference, as well as favourable energy conditions of reception and processing of the echoed signal.

PECULIARITIES OF MEASUREMENTS ON SHORT RANGES

On short ranges the rangefinder operation becomes complicated due to a number of unfavourable factors.



отражающей диффузной целью (для крупноразмерной цели, перекрывающей пучок зондирующего излучения, $K(R)=\rho$, где ρ – коэффициент яркости цели); τ_a – коэффициент затухания излучения на трассе зондирования.

Величина сигнала, принимаемого от максимально удаленной цели, должна быть достаточной для срабатывания фотоприемного устройства с реальной чувствительностью $E_{\text{при}}$:

$$E_{\text{при}} = \Pi \cdot K(R) \cdot \tau_a / (R_{\text{макс}})^2.$$

При неизменных τ_a и $K(R)$ величина сигнала от цели на дальности R будет больше порогового сигнала в $R_{\text{макс}}^2/R^2$ раз. Это величина потенциальной перегрузки приемного тракта. Реальная перегрузка Θ уменьшается за счет аппаратной функции $A(R)$ и составляет

$$\Theta = A(R) \cdot (R_{\text{макс}}/R)^2.$$

Типичная зависимость $\Theta(R)$ в ближней зоне и соответствующая ей аппаратная функция при базе $B \sim 50$ мм приведены на рис.14. При увеличении базы между приемным и передающим каналами уровень перегрузки

On the one hand, closely spaced targets give high level of the echoed signal which overloads the reception path. It leads to the deterioration of device accuracy and resolution capacity.

This disadvantage is partly compensated through the incomplete overlapping of fields of the reception and transmitting channels on short ranges which is defined by the overlap ratio. Dependence of the overlap ratio on the range is called the instrument function or geometric factor [13, 14]. Formation mechanism of the instrument function is illustrated in Figure 11.

On short ranges where fields of the transmitting and reception channels do not cross $A(R)=0$. Range bracket $R \leq R_0$ where it occurs is called the shadow zone. Ranges $R > R_1$ where the fields are completely overlapped are called the far-field region. In the far-field region $A(R) = 1$. Intermediate range bracket $R_0 < R \leq R_1$ where $0 < A(R) < 1$ is defined as the near-field region.

When usually constructing the rangefinder according to the scheme mentioned above the shadow zone of rangefinder R_0 is 2–20 m depending on the mutual configuration and optical characteristics of the emitting and reception channels. Approximate appearance of the instrument function is shown



уменьшается, но увеличивается радиус теневой зоны. Для сокращения теневой зоны могут быть применены указанные выше технические решения [14-16]. При наличии запаса энергетического потенциала, характеризуемого превышением η сигнала от максимально удаленной цели над пороговым уровнем, перегрузка на малых дальностях возрастает в η раз, что необходимо учитывать при построении приемного тракта и оптической схемы дальномера.

Выводы

- Достоверные измерения расстояний обеспечиваются правильным применением методов селекции цели при наличии помех, так как оператор не всегда может выделить цель на фоне помех, к которым относятся ландшафтные помехи, провода, мачты, обратное аэрозольное рассеяние атмосферы и др.
- Среди существующих методов селекции следует выделить селекцию сигналов по их форме. Этот метод имеет особое значение для дальномеров-высотометров, так как наиболее эффективен для борьбы с протяженными помехами, в основном с помехой обратного рассеяния (ОР). Ограничение полосы пропускания приемного тракта снизу на уровне позволяет подавить помеху обратного рассеяния до 10-100 раз. При этом отношение сигнал/шум практически не ухудшается.
- При заданных угловых размерах цели целесообразно иметь угол поля зрения приемника и угловой размер разрыва перекрестия близкими к угловому размеру основной цели на максимальной дальности (1-5 мрад).
- Метод временной привязки массива данных путем определения его первого начального момента (центра тяжести) поддерживает высокую точность временной привязки не только в линейном диапазоне входного сигнала, но и при значительных перегрузках.
- При измерении больших расстояний особое значение приобретают методы пространственной и амплитудно-временной селекции, которые обеспечивают оперативность измерений и высокую психологическую уверенность оператора.
- Средний диапазон начинается с дальности, где прекращается влияние помехи ОР, и заканчивается дистанцией, на которой угловые размеры основной цели становятся соизмеримыми с рабочим полем дальномера.

in graphs (Fig. 12 and 13). It should be noted that the shadow zone of instrument function can be considerably reduced upon the coaxial plotting of the rangefinder optical scheme [15] or at the expense of introduction of the additional optical elements [16-18].

Objectives to the minimal measured range and accuracy of measurements are conflicting. The first specified objective compels to reduce the shadow zone of rangefinder and the second one compels to reduce the level of overloading of reception path by the echoed signals which places the opposite demands on instrument function.

Additional factor which negatively influences on the accuracy in near-field region is the different mode structure of laser emission in near- and far-field regions. These differences get worse through the influence of partial overlapping of fields of the emitting and reception channels in near-field region. As a result, the instrument function extracts certain modes and suppresses other ones in near-field region. The difference in the temporary position of emission components which correspond to these modes can reach 0.1-1 ns, these values comply with the range measurement error of 0.01-0.2 m.

There are engineering solutions which are intended for the lowering of the specified factor influence [15]. The value of reception path overload can be defined in the following manner. According to the location equation the signal $E_{пр}$ which comes into the reception channel from target is inversely proportional to the squared range R .

$$E_{пр} = \Pi \cdot K(R) \tau_a / R^2,$$

where Π is the constant coefficient (potential) determined through the rangefinder structure and characteristics which influence on the value of received signal; $K(R)$ is the factor of overlapping of the probe radiation beam by the homogeneously echoing diffuse target (for the large-sized target which overlaps the probe radiation beam, $K(R) = \rho$, where ρ is the target luminance factor); τ_a is the emission attenuation factor on the probing route.

The value of signal received from the most distant target has to be sufficient for the actuation of photodetector with the actual sensitivity $E_{пр1}$.

$$E_{пр1} = \Pi \cdot K(R) \tau_a / (R_{\max})^2$$

Upon the invariable τ_a and $K(R)$ the value of signal from target on range R will be larger than the



- Требования к минимальной измеряемой дальности и точности измерений противоречивы, так как уменьшение теневой зоны дальномера и снижение уровня перегрузок приемного тракта предъявляют противоположные требования к аппаратной функции – зависимости коэффициента перекрытия полей приемного и передающего каналов от дальности. Требуемый характер аппаратной функции может быть обеспечен введением в приемный или передающий канал дополнительных оптических элементов.
- Различная модовая структура лазерного излучения в ближней и дальней зонах отрицательно влияет на точность измерения в ближней зоне. Разница во временном положении компонент излучения, соответствующих этим модам, может достигать 0,1-1 нс, что соответствует ошибке измерения дальности 0,01-0,2 м, и это необходимо учитывать при построении приемного тракта и оптической схемы дальномера (высотомера) с повышенными требованиями к точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермаков Б.А., Возницкий М.В. Получение и обработка информации в импульсных лазерных дальномерах. – Оптический журнал, 1993, № 10, с. 15-32.
2. Simrad LP7. Jane's Electro-Optic Systems 2003-2004, p. 355.
3. Вильнер В.Г. и др. Оценка возможностей светолокационного импульсного измери-

threshold signal by $R_{\text{макс}}^2/R^2$ times. This is the value of potential overload of the reception path. Actual overload Θ is reduced at the expense of instrument function $A(R)$ and determined from the formula:

$$\Theta = A(R) \cdot (R_{\text{макс}}/R)^2.$$

Typical dependence $\Theta(R)$ in near-field region and relevant instrument function on the base $B \sim 50$ mm are shown in Fig.14. When increasing the base between reception and transmitting channels the overload level decreases but the radius of shadow zone increases. Engineering solutions mentioned above can be applied for the reduction of shadow zone [14-16]. Upon the energy store which is described by the surpassing η of signal from the most distant target over the threshold level the overload on short ranges increases by η times; it is necessary to take this fact into account when constructing the reception path and optical scheme of rangefinder.

CONCLUSIONS

- Accurate measurements of distances are ensured through the correct application of target selection methods when having interference because not always operator can identify the target against the background of interference; landscape interference, wires, masts, atmosphere aerosol backscattering etc. are the types of interference.
- Selection of signals according to their form should be marked out among the existing selection methods. This method has special importance for rangefinders-altimeters



- теля дальности с накоплением. – Фотоника, 2007, № 6, с.22–26.
4. Aman M.-C. et al. Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement. – Optical Engineering, 2001, v. 40, № 1, p. 13–14.
 5. Мелешко Е.А. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике. – М.: Атомиздат, 1977, с. 76–78.
 6. Пат. РФ № 2341770 по з-ке № 2007122012 от 15.06.2007 г. Устройство временной привязки лазерного дальномера/В.Г.Вильнер и др.
 7. US pat. No 6753950, June 22, 2004. Optical distance measurement/John Morcom.
 8. Пат. РФ № 2390724 по з-ке № 2007137273 от 10.10.2007 г. Способ светолокационного определения дальности/В.Г.Вильнер и др.
 9. US pat. No 5805468, September 8, 1998. Method and apparatus for determining the light transit time over a measurement path arranged between a measuring apparatus and a reflecting object/F.Blohbaum.
 10. Пат. РФ № 2469269 по з-ке № 2011101610 от 18.01.2011 г. Способ измерения дальности/В.Г.Вильнер и др.
 11. Пат. РФ № 2422770 по з-ке № 2010114668 от 14.04.2010 г. Способ измерения дальности/В.Г.Вильнер и др.
 12. Пат. РФ № 2439492 по з-ке № 2010121546 от 28.05.2010 г. Лазерный дальномер/ В.Г.Вильнер и др.
 13. HaLddrsson T. and Langerhoic J. Geometrical form factors for the Lidar function. – Applied Optics, v. 17, №. 2, 15 January 1978.
 14. Даничкин С. А. Границы действия геометрического фактора лидара. – IV Всесоюзный симпозиум по лазерному зондированию атмосферы. Тезисы докладов. Томск, 1976, с. 79–82.
 15. US pat. 5517297, 14.05.96. Rangefinder with transmitter, receiver, and viewfinder on a single common optical axis/C.Stenton.
 16. Пат. РФ № 2473046 по заявке № 2011140187 от 04.10.2011 г. Лазерный измеритель дальности (варианты)/В.Г.Вильнер и др.
 17. Пат. РФ № 2475702 по заявке № 2011140188 от 04.10.2011 г. Лазерный дальномер (варианты)/В.Г.Вильнер и др.
 18. Пат. РФ № 2471203 по заявке № 2011140189 от 04.10.2011 г. Лазерный измеритель расстояний/В.Г.Вильнер и др.
- because it is the most efficient method for the suppression of extensive interference, particularly, backscattering interference. The restriction of pass band of the reception path from the bottom at level of $F_H \sim 0.3$ MHz makes it possible to suppress the backscattering interference by 10–100 times. Herewith, the signal/noise ratio practically does not become worse.
- Upon the designated angularities of target it is reasonable to have the values of angle of the receiver field of view and angularity of crosswire gap close to the angularity of primary target on maximum range (1–5 mrad).
 - Method of data array timing through the position determination of its primary moment (center of gravity) supports high timing accuracy not only in linear range of the input signal but also under considerable overloads.
 - When measuring long distances, the methods of spatial and amplitude-time selection obtain the special importance ensuring the measurements immediacy and high psychological confidence of operator.
 - Middle bracket starts from the range where the backscattering interference does not influence on the reception path, and ends with the range where the primary target angularities become commensurable with the rangefinder operational field.
 - Objectives to the minimal measured range and accuracy of measurements are conflicting because the reduction of the shadow zone of rangefinder and decrease of the level of overloading of reception path place the opposite demands on instrument function which is the dependence of the factor of overlapping of fields of the reception and transmitting channels on the range. Required nature of the instrument function can be ensured through the introduction to reception or transmitting channel of the additional optical elements.
 - Different mode structure of laser emission in near- and far-field regions negatively influences on the accuracy of measurement in near-field region. The difference in the temporary position of emission components which correspond to these modes can reach 0.1–1 ns, these values comply with the range measurement error of 0.01–0.2 m; it is necessary to take this fact into account when constructing the reception path and optical scheme of rangefinder (altimeter) with increased accuracy requirements.