

Физические основы оптической локации

Оптической локационной системой (ОЛС) называют совокупность технических средств, позволяющих обнаруживать объекты и оценивать их координаты с помощью электромагнитных волн оптического диапазона (от $3 \cdot 10^{12}$ до $3 \cdot 10^{16}$ Гц или в длинах волн от 100 до 0,01 мкм).

Переход в оптический диапазон дает также возможность повысить точность измерения дальности до цели и ее радиальной скорости.

При импульсном методе измерения это связано с возможностью излучения импульсов наносекундной длительности с пиковой мощностью в сотни и тысячи мегаватт. При фазовом методе измерение ведется на поднесущих, имеющих частоты вплоть до СВЧ-диапазона.

Доплеровские методы измерения радиальной скорости в оптическом диапазоне характеризуются высокой чувствительностью. Так, при длине волны $\lambda_{\text{и}} = 1 \text{ мкм}$ радиальной скорости $V_r = 0,1 \text{ м/с}$ соответствует доплеровское смещение частоты $F_v = 2V_r / \lambda_{\text{и}} = 200 \text{ кГц}$. Для реализации таких методов требуется высокая стабильность (временная когерентность) излучения, которая может быть достигнута с помощью газовых лазеров.

Высокое пространственное разрешение, свойственное оптическим сигналам, позволяет успешнее, чем в радиодиапазоне, распознавать наблюдаемые объекты и формировать изображение просматриваемого пространства. ОЛС присущи следующие особенности, которые нужно учитывать при выборе частотного диапазона проектируемой локационной системы:

- 1) характеристики ОЛС сильно зависят от свойств среды, в которой происходит распространение лазерного излучения. Например, при работе ОЛС в приземном слое атмосферы (тропосфере) дальность действия и точность измерения координат объекта определяются в основном метеоусловиями;
- 2) вследствие узости ДН требуется большое время для поиска цели по угловым координатам;
- 3) существующие ограничения по частоте повторения импульсов, вызванные теплофизическими особенностями работы лазера, снижают темп обновления информации, получаемой от лоцируемого объекта;
- 4) квантовый характер электромагнитного излучения уменьшает эффективность обнаружения сигнала и измерения его параметров вследствие как внутренних и внешних шумов, так и вероятностного характера регистрации оптического излучения.

Основными областями применения ОЛС являются:

- 1) мехатроника и робототехника;
- 2) аэрокосмические системы;
- 3) геодезия, картография, строительное и горное дело;
- 4) траекторные измерения космических объектов в системах Земля—Космос и космических комплексах (сближение, стыковка);
- 5) калибровка радиолокационных измерителей;
- 6) получение метеоинформации;
- 7) управление оружием.

- Из активных, пассивных и комбинированных режимов работы локационных систем для ОЛС наиболее характерным является активный режим, при котором источник зондирующего сигнала и приемник отраженного излучения пространственно совмещены.

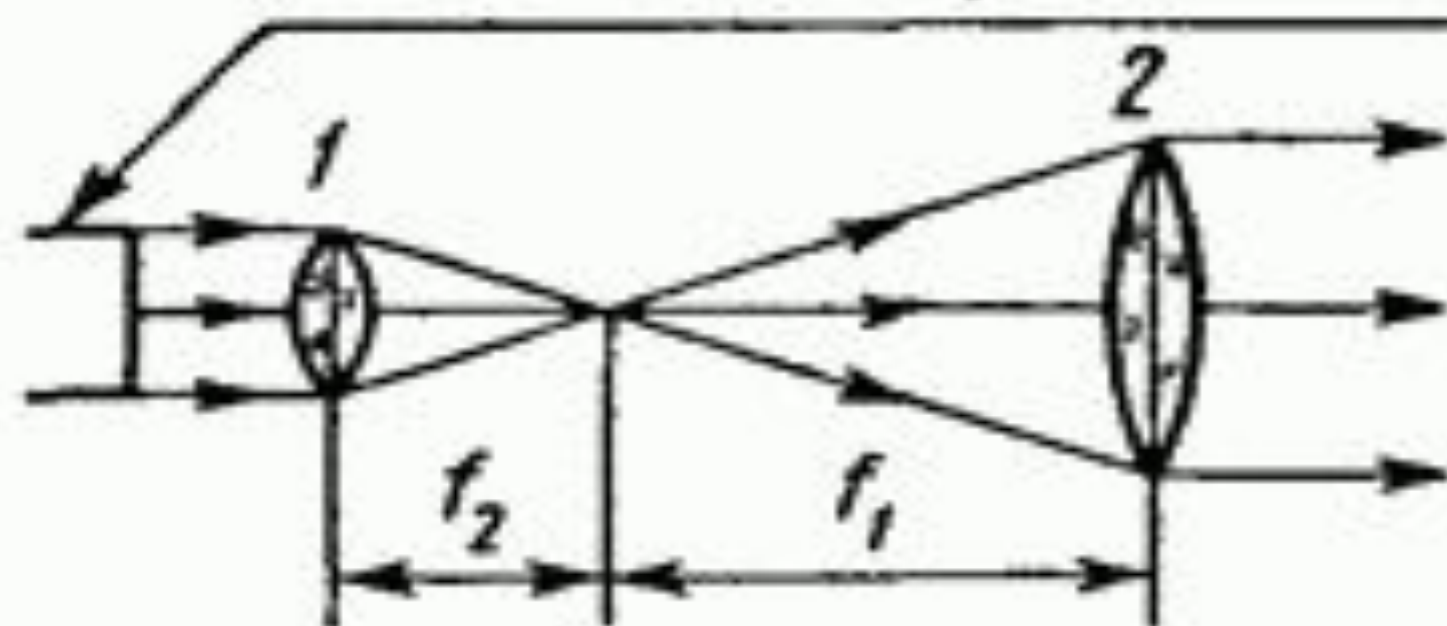
Структурная схема ОЛС в общем виде представлена на рисунке 1

- В ее состав входят источник и приемник излучения, оптическая система (ОС), формирующая излучаемый в направлении цели световой пучок и собирающая отраженное объектом излучение, система обработки и наведения, осуществляющая оценивание координат цели и их автоматическое сопровождение.

Рисунок 1



Оптический передатчик



Рассмотрим подробнее элементы структурной схемы ОЛС.

- Источник излучения — лазерный передатчик (ЛП) — служит для создания зондирующего сигнала с требуемыми характеристиками, он работает в импульсном или непрерывном режиме. Для формирования диаграммы направленности (ДН), обеспечивающей концентрацию излучаемой энергии в узком пучке, применяется оптическая система (рисунок 2), состоящая из двух линз: окуляра 1 и объектива 2, фокальные плоскости которых совмещены. Такая система, называемая коллимирующей, позволяет уменьшить расходимость исходного пучка в k раз, где $k=f_1/f_2$; фокусные расстояния объектива и окуляра.

- Для наведения лазерного луча на цель или сканирования используют систему поворотных зеркал и призм или устройства, основанные на эффекте преломления луча в оптически неоднородной среде, в которой изменение показателя преломления создается управляющим напряжением.

- Излучаемые оптические сигналы, распространяясь через атмосферу или другую среду, претерпевают изменения, которые обусловлены тремя основными явлениями: поглощением, рассеянием и турбулентностью.

- Поглощение и рассеяние определяют среднее затухание оптического сигнала и относительно медленные флуктуации, вызванные изменением метеоусловий. С турбулентностью связаны быстрые изменения поля, имеющие место при любой погоде. Турбулентность делает характеристики среды распространения случайными, вследствие чего происходит расширение диаметра светового пучка; его амплитуда, фаза, поляризация и угол падения флуктуируют.

- При взаимодействии лазерного пучка с отражающей поверхностью цели возникает вторичное излучение, характер которого зависит от свойств зондирующего луча и особенностей цели (состояние поверхности, характер движения). В зависимости от состояния отражающей поверхности различают зеркальное и диффузное отражения. При зеркальном отражении вторичное излучение формируется по законам геометрической оптики.

- Вместе с полезным сигналом на входе оптической приемной системы присутствует световой фон, создаваемый рассеянным в атмосфере солнечным излучением, свечением звездного неба, а также излучением, отраженным от различных посторонних объектов, оказавшихся в поле зрения приемной системы ОЛС. Фоновая помеха представляет собой случайное гауссовское поле, которое, как и нормальный случайный процесс, можно полностью описать средним значением и корреляционной функцией

- . Так как для оптических полей среднее значение напряженности $\langle E \rangle$, где r — радиус-вектор, определяющий положение точки в плоскости наблюдения; t — время, то корреляционная функция может быть записана в виде

$$K(t_1, \mathbf{r}_1, t_2, \mathbf{r}_2) = \overline{E(t_1, \mathbf{r}_1) E^*(t_2, \mathbf{r}_2)}.$$

Случайное поле считается стационарным и однородным,

$$K(t_1, \mathbf{r}_1, t_2, \mathbf{r}_2) = K(t_2 - t_1, \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1).$$

Так как фоновое излучение стационарно и однородно, обладает чрезвычайно широким спектром, а его пространственный радиус корреляции существенно меньше радиуса корреляции сигнального поля, то корреляционная функция фоновой помехи

$$K_{\phi}(t_1, \mathbf{r}_1, t_2, \mathbf{r}_2) = \frac{N_0}{2} \delta(t_2 - t_1) \delta(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1),$$

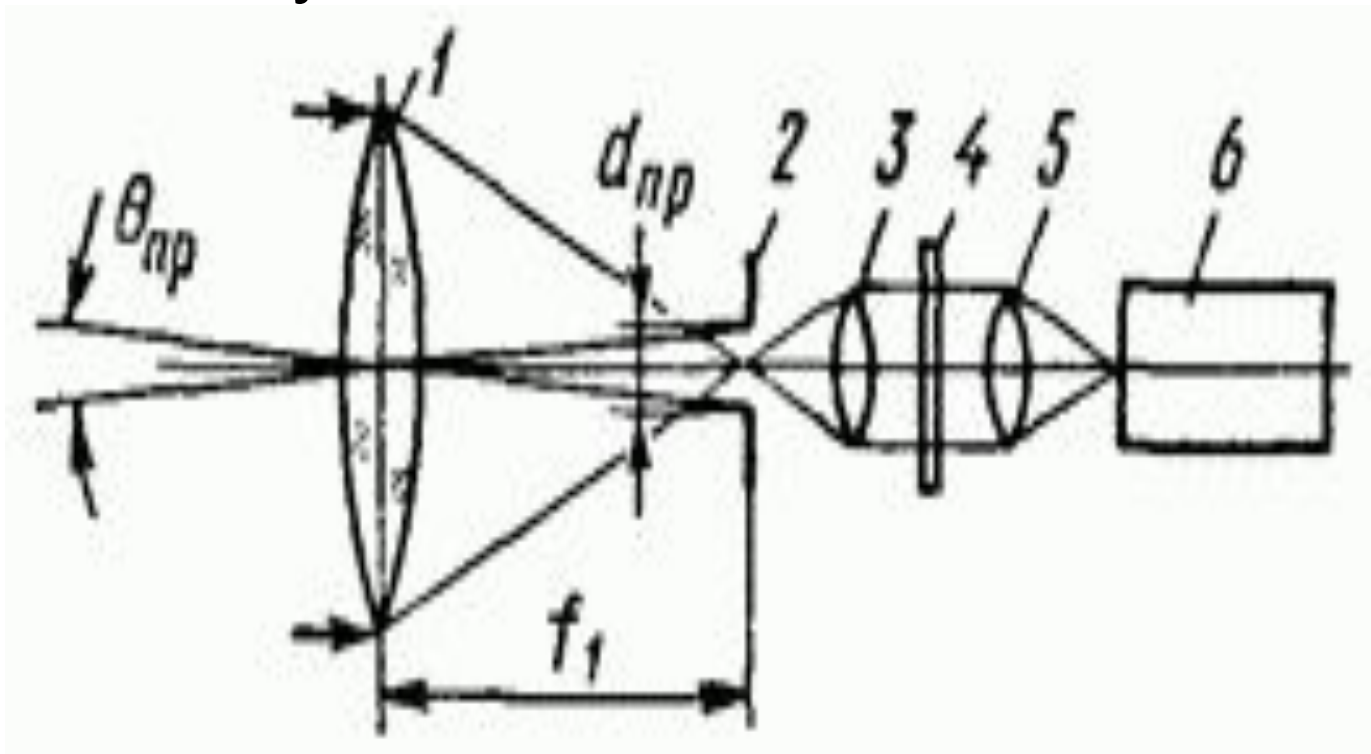
где $N_0/2$ - пространственно-временная спектральная плотность мощности.

- При работе ОЛС в сильно замутненной среде (туман, вода) -основным видом помехи является обратное рассеяние излучения передатчика — так называемая помеха обратного рассеяния. Характер этой помехи зависит как от оптических характеристик среды, так и от параметров излучаемого сигнала.

- Кроме внешних помех при проектировании ОЛС необходимо учитывать внутренние шумы, возникающие при преобразовании оптического сигнала в электрический. Связанный с ними ток, возникающий на выходе преобразователя при отсутствии светового сигнала на входе, называют **ТЕМНОВЫМ**.

- Часть отраженного от цели излучения вместе с внешними помехами попадает на входную апертуру оптического приемного устройства (ОПУ), состоящего из оптической приемной антенны, светофильтра и фотоприемника. В ОПУ применяют линзовые, отражательные и смешанные антенные устройства. Среди линзовых антенн наиболее распространенной является телескопическая система, изображенная на рисунке 3.

Телескопическая система Рисунок 3

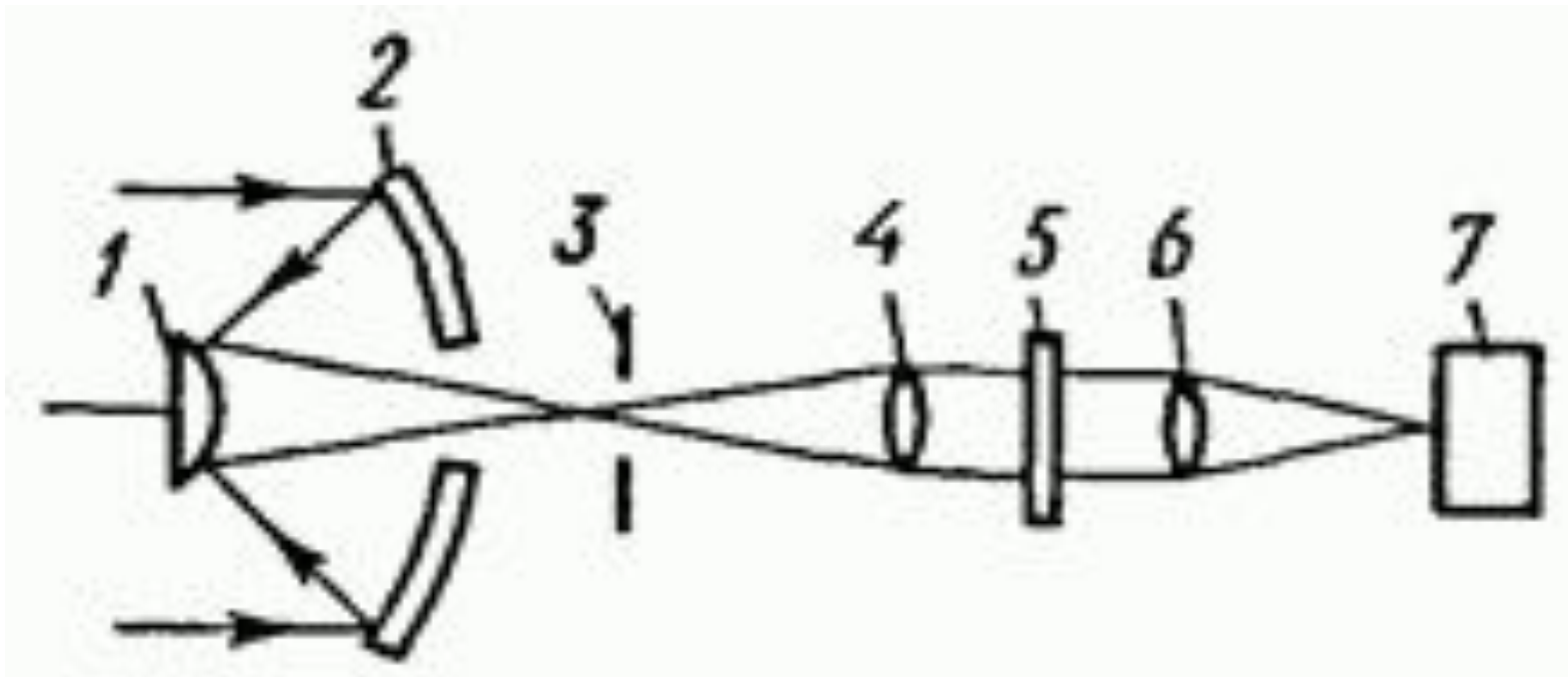


Принимаемый световой пучок поступает на объектив 1, в фокусе которого располагается диафрагма 2, вместе с объективом определяющая поле зрения ОПУ:

$$\theta_{\text{пр}} = 2 \operatorname{arctg} d_{\text{пр}} / (2f_1),$$

где $d_{\text{пр}}$ - диаметр диафрагмы; f_1 - фокусное расстояние объектива. С помощью окуляра 3 формируется параллельный пучок, который пропускается через оптический фильтр 4. Линза 5 фокусирует отфильтрованный сигнал на светочувствительной поверхности фотоприемника 6.

Антенное устройство смешанного типа представлено на рисунке 4.



Приходящее излучение попадает на зеркало 2, переотражается на зеркало 1 и после прохождения диафрагмы 3 преобразуется с помощью окуляра 4, оптического фильтра 5, фокусирующей линзы 6 и поступает на фотоприемник 7. Смешанная система позволяет получить компактную и дешевую конструкцию с малым коэффициентом оптических потерь.