

УДК 621.396.96

Головина Светлана Александровна, студентка,
Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург

**ВСЕПОГОДНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ВЫСОТОМЕРЫ:
ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ВЫСОТ НАД МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
ALL-WEATHER LASER ALTIMETERS:
LOW-ALTITUDE MEASUREMENTS OVER THE SEA SURFACE**

Аннотация: Статья посвящена анализу возможностей и технических решений для измерения малых высот над морской поверхностью

с использованием импульсных лазерных высотомеров (ИЛВ).

Abstract: The article presents an analysis of capabilities and technical solutions for measuring low altitudes over the sea surface using impulse laser altimeters (ILAs).

Ключевые слова: лазерный высотомер, импульсное зондирование, малая высота, помеха обратного рассеяния, туман, морская поверхность, фотодетектор.

Keywords: laser altimeter, impulse probing, low altitude, backscatter interference, fog, sea surface, photodetector.

Введение

Импульсные лазерные высотомеры (ИЛВ) находят широкое применение в авиационной и морской навигации, обеспечивая высокоточные измерения малых высот, в том числе при посадке гидросамолетов. В отличие

от радиотехнических и барометрических методов, ИЛВ обладают высокой временной и пространственной точностью, компактностью и низким уровнем радиозаметности [1]. Однако в условиях пониженной прозрачности атмосферы (тумана и дымки) возникает необходимость адаптации как измерительного алгоритма, так и аппаратной структуры устройства.

Преимущества лазерной высотометрии и её ограничения

Принцип действия ИЛВ основан на измерении временного интервала между зондирующим и отражённым импульсами лазерного излучения. Высота рассчитывается по известному выражению:

$$H = \frac{c \times \Delta T}{2}, \quad (1)$$

где c – скорость света в воздухе, ΔT – задержка между отправкой и приёмом сигнала.

Низкий угол расходимости лазерного пучка обеспечивает высокую избирательность, что особенно важно при полетах на малых высотах [2].

Однако при наличии тумана или дымки эффективность ИЛВ значительно снижается, что требует введения дополнительных алгоритмических и аппаратных решений [3].

Особенности отражения лазерного импульса от морской поверхности

Морская поверхность представляет собой случайную совокупность отражающих элементов, находящихся в динамическом состоянии. Статистическое распределение углов наклона волн и их временные флуктуации обуславливают вероятностный характер формирования отражённого сигнала.

На рисунке 1 представлены распределения вероятностей приема отраженных сигналов от взволнованной водной поверхности в зависимости от угла к нормали к водной поверхности



при трех значениях величины отношения порог/шум ($\alpha_1=10$, $\alpha_2=20$, $\alpha_3=30$) (сплошные линии) и трех значений углов излучения и приема k ($k_1=0,04$; $k_2=0,12$; $k_3=0,36$ при величине порог/шум равной 10).

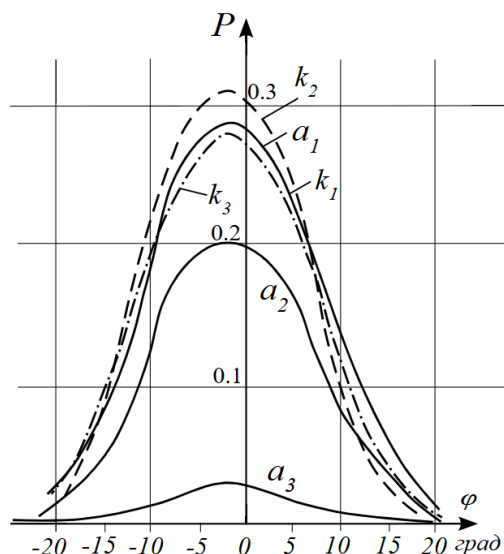


Рисунок 1 – Плотности вероятностей приёма отражённых сигналов в зависимости от угла визирования

Установлено, что достоверность приёма сигнала определяется соотношением сигнал/шум, углом визирования и энергетикой импульса.

Это позволяет формировать оптимальные условия зондирования для заданных условий атмосферы и водной поверхности.

Работа в условиях ограниченной видимости

В условиях ограниченной метеорологической видимости, возникающей при наличии тумана или дымки, основным фактором, влияющим на надёжность работы импульсного лазерного высотомера (ИЛВ), становится интенсивное обратное рассеяние зондирующего излучения. Это рассеяние, происходящее на взвешенных в воздухе водяных аэрозолях, формирует помеху обратного рассеяния (ПОР), которая может значительно превышать по мощности отражённый от морской поверхности сигнал, особенно при малых высотах.

ПОР представляет собой временно распределённую компоненту сигнала, которая возникает из-за того, что рассеяние происходит по всему объёму атмосферы, а не в одной точке. Мощность этой помехи зависит от характеристик среды (плотности частиц, степени рассеяния и ослабления), а также от геометрии локационной схемы.

Конфигурация размещения оптических компонентов – передающая оптическая система (ПОС) и приемная оптическая система (ПрОС) – играет важную роль в формировании структуры ПОР. Базовое расстояние между оптическими осями, размеры апертур, углы расходимости излучения и поле зрения приёмника определяют форму и протяжённость сигнала ПОР по времени.

На рисунке 2 представлена типовая геометрическая схема взаимодействия зондирующего импульса с туманной атмосферой. Обозначения:

- s – расстояние между оптическими осями ПОС и ПрОС;
- α_i – угол расходимости излучения лазера;
- α_p – угол поля зрения приёмной системы;



- D_n , D_p – диаметры апертур ПОС и ПрОС;
- t – время распространения импульса до этой точки.

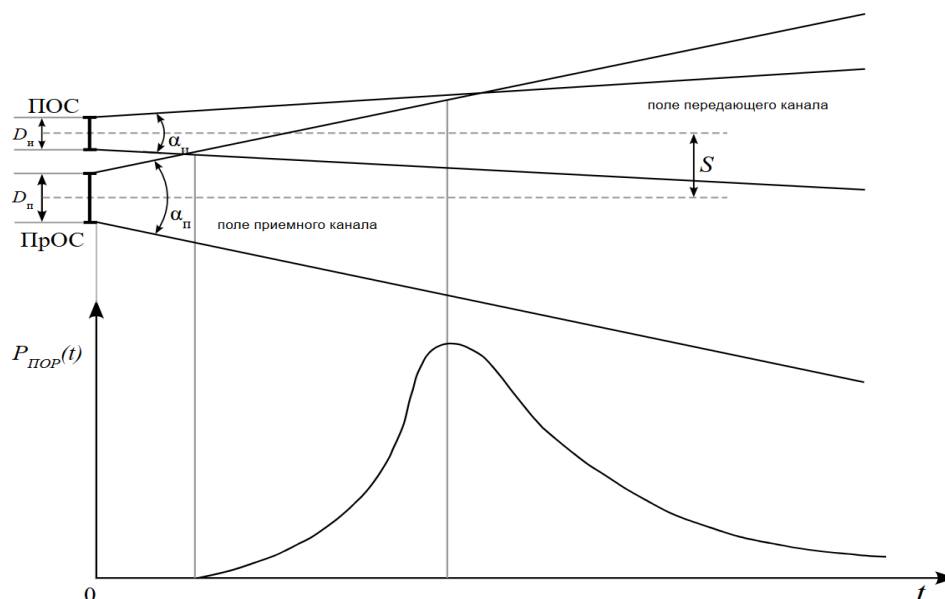


Рисунок 2 – Геометрическая схема распространения импульса в аэрозольной среде и формирование сигнала ПОР во временной области.

Как видно из схемы, ПОР формируется на всем протяжении пути распространения импульса. Максимум её мощности зависит от плотности тумана и угловой конфигурации оптических систем. Более плотный туман приводит к смещению энергетического максимума ПОР к начальному моменту времени и увеличению его амплитуды. Влияние геометрии, в том числе базового расстояния между осями систем, будет рассмотрено более подробно в следующих подразделах.

Схемотехническая реализация и алгоритмические принципы

Эффективное измерение в разных атмосферных условиях достигается применением двух каналов приёма сигнала: стандартного (для прозрачной атмосферы) и адаптивного (для условий с сильным рассеянием). Переключение между каналами осуществляется автоматически на основе оценки состояния среды.

Общая функциональная структура представлена на рисунке 3.

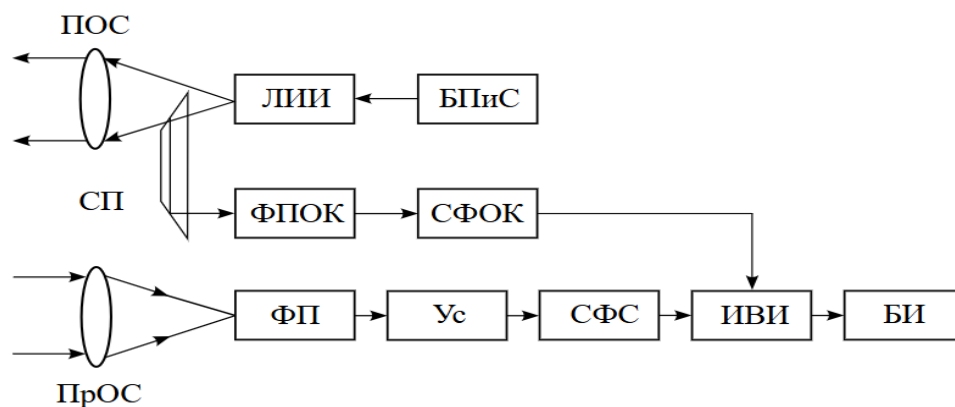


Рисунок 3 – Функциональная схема ИЛВ малых высот



В данной схеме используется дополнительный фотодетекторный канал, состоящий из светопровода (СП), фотоприемника опорного канала (ФПОК) и схемы фиксации временного положения опорного сигнала (СФОК).

При этом в высотомерах малого диапазона фотоприемные устройства в приемном и опорном каналах идентичны, как правило, на базе р-и-п фотодиодов с видеоусилителями гибридного исполнения. Такие схемы обеспечивают оптимальную фильтрацию полезного сигнала при его обнаружении.

Устойчивость системы повышается за счёт схемы регулировки уровня срабатывания порогового устройства, обеспечивающей динамическую настройку чувствительности приёмного тракта. Подробное отображение этой части схемы представлено на рисунке 4.

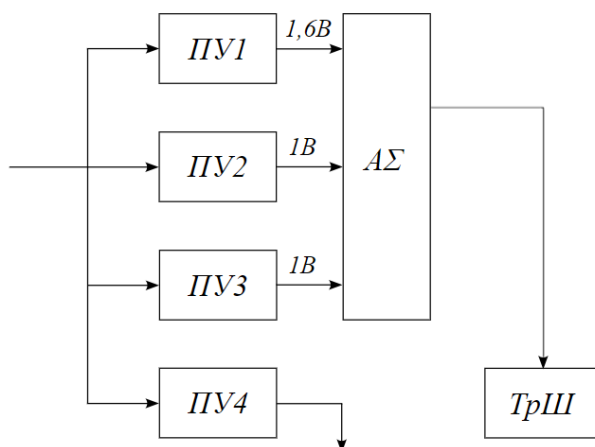


Рисунок 4 – Схема регулировки уровня срабатывания порогового устройства

Используемые в конструкции лавинные фотодиоды, видеоусилители и интерференционные фильтры обеспечивают достаточный уровень чувствительности и устойчивость к флуктуациям мощности отражённого сигнала.

Таким образом импульсные лазерные высотомеры представляют собой эффективный и высокоточный инструмент для навигации на малых высотах над морской поверхностью. Их основное преимущество – высокая разрешающая способность и скрытность работы – сохраняется и в сложных условиях при правильной архитектуре системы. Использование двухканальных схем, методов оценки и компенсации ПОР позволяет реализовать всепогодные ИЛВ, способные работать при дальности видимости от 0,1 км до 30 км. Это открывает широкие перспективы применения в гражданской авиации, беспилотных системах и морских операциях.

Список литературы:

1. Бокшанский В.Б., Бондаренко Д.А., Вязовых М.В., Животовский И.В. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.
2. Jelalian A.V. Laser Radar Systems. – Artech House, 1992.
3. Cox C., Munk W. Statistics of the Sea Surface Derived from Sun Glitter. – Journal of Marine Research. – 1954.

