

С.Д.Жарников, И.А.Малевиц, С.И.Чубаров
ПРОФИЛОМЕТР ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Одним из элементов бортовых экспериментальных комплексов для дистанционного лазерного зондирования гидросферных сред является профилометр водной поверхности. Его задача - выдача информации о расстоянии от платформы летательного аппарата до границы "атмосфера-гидросфера".

В качестве источников оптического излучения в дальномерных системах используются лазеры, длина волны которых лежит в окнах прозрачности атмосферы и которые позволяют генерировать короткие наносекундные импульсы с пиковой мощностью десятки и более киловатт. В частности, используются лазеры на парах меди ($\lambda = 0,51$ мкм) и марганца ($\lambda = 1,05$ мкм).

Однако использование названных лазеров в дальномерных системах сопряжено с рядом трудностей. Прежде всего это связано с большой массой и габаритами лазера с блоком питания до 100 кг), его высоким энергопотреблением около 10 кВт и низкой надежностью активного элемента. Небольшой ресурс наработки бортовых лазеров, сложность наладки системы, трудности в эксплуатации, связанные с использованием высоковольтной аппаратуры и принудительного охлаждения способствовали разработке альтернативных источников излучения.

Нами эта задача решена путем использования в качестве источника излучения мощных многоэлементных полупроводниковых инжекционных лазерных излучателей. Их компактность, малая инерционность, простота управления, высокая надежность и долговечность, стабильные и малые (до 1 нс) задержки между электрическим импульсом запуска и импульсом света позволяют осуществлять и эффективно перестраивать генерацию в широком спектральном диапазоне.

Нами создан двухканальный профилометр водной поверхности в качестве источников излучения, в котором используются два многоэлементных полупроводниковых лазерных излучателя в режиме генерации парных оптических импульсов. Длины волн излучения в каждом канале различаются, они составляют $\lambda_1=0,82$ мкм и $\lambda_2=0,86$ мкм и соответствуют сильно различающимся коэффициентам поглощения воды. Такой режим работы позволяет формировать программируемые

лазерные воздействия в виде пары световых импульсов независимо на двух длинах волн одновременно с последующим их обнаружением и прецизионным анализом локационных полей. Использование пары оптических импульсов с заданной задержкой между ними по двум каналам увеличивает достоверность и точность профилирования при локации поверхности, а также позволяет по специально разработанному алгоритму на основе анализа временных профилей отраженных сигналов в соответствующих спектральных окнах определять точное положение границы водной поверхности.

Для получения коротких оптических импульсов использовался генератор накачки на основе тиратрона ТГИ-100/8.

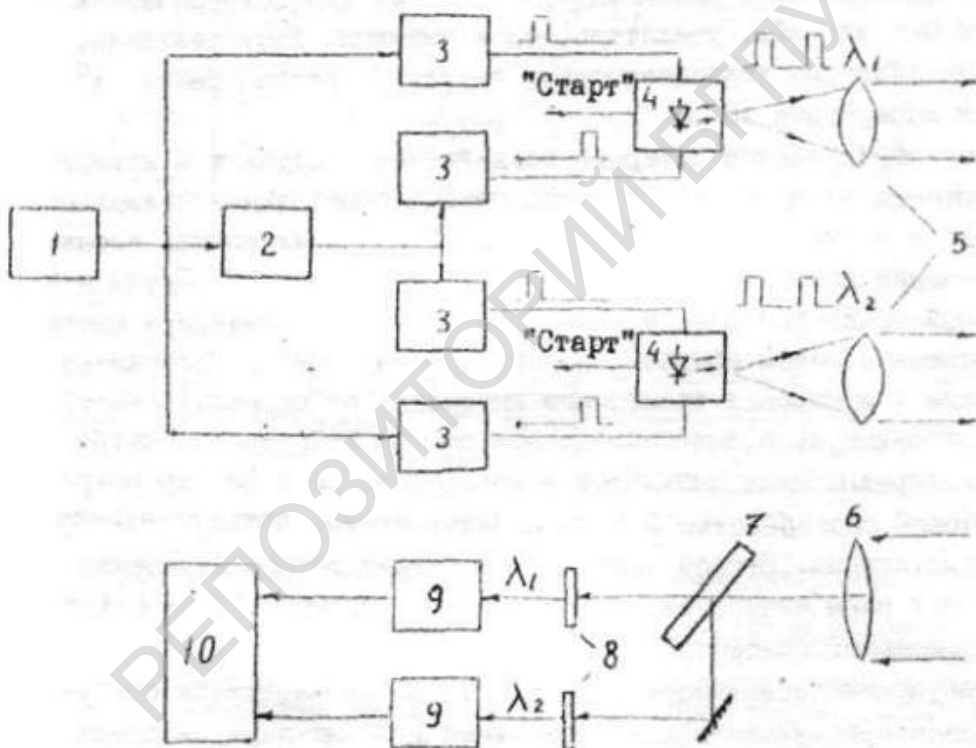


Рис. 1. Структурная схема приемно-передающего блока:
 1-генератор запуска; 2-регулируемая линия задержки;
 3-генератор коротких импульсов; 4-полупроводниковый лазерный излучатель; 5-коллимирующая система; 6 - приемная телескопическая система; 7-светоделитель; 8-узкополосные фильтры; 9-фотоприемное устройство; 10-блок обработки информации

Синхронизация работы лазерного излучателя осуществлялась на основе единой опорной временной шкалы профилометра. Для обеспечения малой расходимости излучения использовались линзовые коллимирующие системы, обеспечивающие расходимость излучения по трассе не хуже 1° .

Параметры передающего блока профилометра следующие: 1) мощность излучения - 1,5 кВт; 2) длительность импульса излучения на уровне 0,5-15 нс; 3) длительность переднего фронта - не более 5 нс; 4) расходимость - менее 1° ; 5) частота следования импульсов - до 16 кГц; 6) диапазон перестройки импульсов в пуге - 10нс - 1 мкс; 7) масса (включая лазер, блок питания, коллиматор) - 4кг; 8) потребляемая мощность - не более 50 Вт.

Фотоприемный блок профилометра включает два фотоприемника на основе ФЭУ или ЛФД, усилитель, блок питания, светоделитель, оптические фильтры, телескопическую систему с полем зрения 1° и входной апертурой 15 см.

Зарегистрированное лазерное воздействие поступает в измеритель временных интервалов. Сущность метода определения поверхности состоит в поэтапном обнаружении отраженных локационных сигналов и измерении сформированных временных интервалов. При этом измерительный тракт выполнен в виде двухзвенного анализатора интервалов времени с общей опорной шкалой. Первое звено осуществляет фазирование и измерение временного интервала от сигнала "Старт" до первого стоп-импульса, выделенного при помощи цифрового фильтра из пары информационных импульсов и интерполятора типа "хронотрон" с разрешающей способностью 0,8 нс и накоплением соответствующих двойных гистограмм. Второе звено осуществляет точное измерение обнаруженной пары импульсов при помощи интерполятора вида $\frac{1}{2} \rightarrow A \rightarrow$ код с разрешающей способностью 100 пс.

Обнаружение поверхности в профилометре производится следующим образом. В результате взаимодействия пуга из двух лазерных импульсов с поверхностью формируется отраженный сигнал, который после приемного телескопа проходит оптический фильтр и поступает на вход фотоприемника. В фотоприемнике сигнал детектируется и в виде случайного импульсного процесса, который представляет собой смесь сигнала и шума, поступает в программируемый цифровой фильтр и пороговый дискриминатор. При этом случайный импульсный процесс на выходе фотоприемника на данном этапе обработки не содержит

информации о том, какой из принятых импульсов является сигналом, а какой — шумом. Для обнаружения сигналов, отраженных от объектов локации, на фоне шума, а следовательно, и обнаружения объекта осуществляется нелинейная фильтрация протектированного процесса. Для этого программируемый цифровой фильтр синтезирует из образцовых сигналов приборной шкалы времени локатора набор временных окон, число которых равно числу импульсов в пуге лазера, а взаимное временное положение синтезированных окон строго соответствует периоду повторения T импульсов в пуге лазера (рис.2).

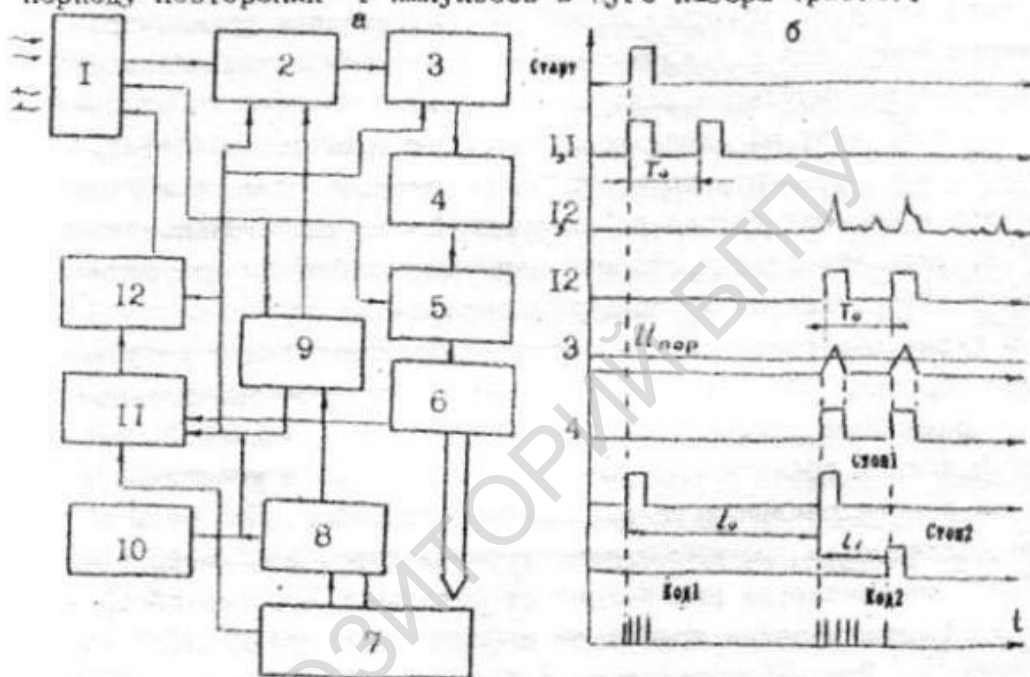


Рис.2. Структурная схема (а) и временные диаграммы (б) работы профилометра:

1-приемно-передающий блок; 2-цифровой программируемый фильтр; 3-пороговый дискриминатор; 4-схема определения временного положения сигнала; 5-двухзвенный измеритель временных интервалов; 6-накопитель кодов; 7-ЗЧМ; 8-блок управления и обработки; 9-блок формирования опорной шкалы; 10-стандарт частоты; 11-блок вычисления и программ; 12-временной датчик команд лазера

Включение программируемого цифрового фильтра осуществляется сразу после первого зарегистрированного импульса пуга, превысившего установленный пороговый уровень $U_{пор}$. (Выбор значения $U_{пор}$ осуществляется, например, на основе критерия Неймана-Пирсона.)

После принятия данного первого импульса выстраивается временная диаграмма цифрового фильтра и по синтезируемому временному признаку проверяется гипотеза о принадлежности импульсов в реализации к рабочим сигнальным импульсам.

В результате прохождения протектированного локационного процесса через программируемый цифровой фильтр происходит временная фильтрация (сортировка) импульсов сигнала и на пороговый дискриминатор поступают только те сигналы, которые удовлетворяют сформированному в цифровом фильтре временному признаку сигнала, т.е. признаку строгого соответствия временного положения импульсов в локационном сигнале временному положению порождающих их импульсов лазерного пуга.

Это позволяет на входе порогового дискриминатора отфильтровывать шумовые импульсы и вести обнаружение объекта и измерение его координат только по регулярной последовательности импульсов, удовлетворяющих сформированному в цифровом программируемом фильтре временному признаку сигнала.

В схеме пороговой дискриминации в соответствии с установленными порогами обнаружения $U_{пор1}$ и $U_{пор2}$ производится энергетическая дискриминация потока локационных сигналов с заданной вероятностью ложной тревоги $P_{л.т}$, определяемой целями и условиями локации на основе реальных условий работы локатора. При этом в каждом последующем временном окне уровень пороговой дискриминации $U_{пор}$ устанавливается независимо от остальных порогов обнаружения и обуславливается требуемой вероятностью правильного обнаружения P_0 . При этом появление любого первого сигнального импульса в соответствующем временном окне фильтрации однозначно увеличивает вероятность регистрации последующих сигнальных импульсов в сформированных временных окнах со строго заданным временным положением.

Таким образом, обнаружение отраженных сигналов ведется методом нелинейной фильтрации по правилу достижения P_0^{*max} при $P_{л.т} = \alpha \Delta t$ путем установления однозначного соответствия отраженных локационных сигналов сформированному временному признаку, заложенному в параметрах лазерного пуга. Это существенно повышает скорость и точность обнаружения объекта локации.

В предлагаемом профилометре для дополнительной проверки гипотезы об обнаружении поверхности используется как перестройка

периода повторения T импульсов лазера в цуге с одновременной перестройкой временных окон программируемого цифрового фильтра, так и перестройка длины волны излучаемого цуга импульсов.

В основе способа определения дальности до поверхности в профилометре лежит измерение временного положения набора эквивалентов локационных сигналов относительно опорной высокостабильной шкалы при помощи детектора временного положения сигналов и двухзвенного анализатора интервалов времени.

Анализатор интервалов времени измеряет на каждом цикле локации одновременно не один, а четыре обнаруженных при помощи программируемого цифрового фильтра отраженных от лоцируемого объекта сигнала l_0, l_1, \dots, l_4 с требуемой точностью. При этом в накопителе кодов суммируются оценки измерений отраженных локационных сигналов, полученных от соответствующих зон лоцируемого пространства, заданных цифровым программируемым фильтром, в результате чего регистрируются за каждый единичный цикл гистограммы плотности вероятности оценок измеренных локационных сигналов. По ним в блоке вычислений и программ вычисляются характеристики объекта и в соответствии с ними вырабатываются сигналы на включение нового цикла зондирования. Анализ временных интервалов сформированных цугом импульсов различной длины волны излучения λ_1, λ_2 позволяет судить о наличии, протяженности гидрозольного слоя у поверхности.

Рабочие шкалы циклов профилометра (запуск излучателя, формирование сигналов управления оптическим детектором, цифровым фильтром и рабочих циклов измерителя временных интервалов) синхронизированы образцовым СВЧ-сигналом. Эта взаимная межшкальная когерентность открывает возможность для синхронизации всех операций измерения и преобразования информации, что исключает неопределенность наложения сигналов, зарегистрированных при различных циклах измерений.

Базовая временная шкала анализатора формируется в фазе с сигналом возбуждения в виде образцовой импульсной последовательности с периодом 10 нс при помощи генератора с задержанной обратной связью, который стабилизирован (в режиме деления частоты) образцовым СВЧ сигналом.

Полученные результаты измерений поступают в ППЭВМ ЕС-1841.

Для стыковки измерительного канала профилометра с ПЭВМ ЕС-1841 использовался разработанный интерфейс.

Основные характеристики измерителя временных интервалов: диапазон измерительных интервалов - 10 нс - 10 мкс; погрешность измерения до 0,7 нс; динамический диапазон входных сигналов - 40 дБ; разрешающая способность $t - A$ - код преобразователя - 100 пс.

Согласно методике [1] была оценена эффективность предложенной системы детектирования профилометра при зондировании цугом импульсов. Эффективность системы характеризуется параметром $Z_{\text{эф}} = I_n(x) (P[A] / \sqrt{N} T_n)$, где $I_n(x)$ - количество информации, получаемое при единичном измерении параметра x ; $\sqrt{N} T_n$ - средняя энергия сигнала; $P[A]$ - вероятность детектирования. Результаты численного моделирования, представленные на рис. 3, говорят о повышении эффективности системы при использовании цуга импульсов возбуждения в сравнении с моноимпульсной системой при прочих равных условиях.

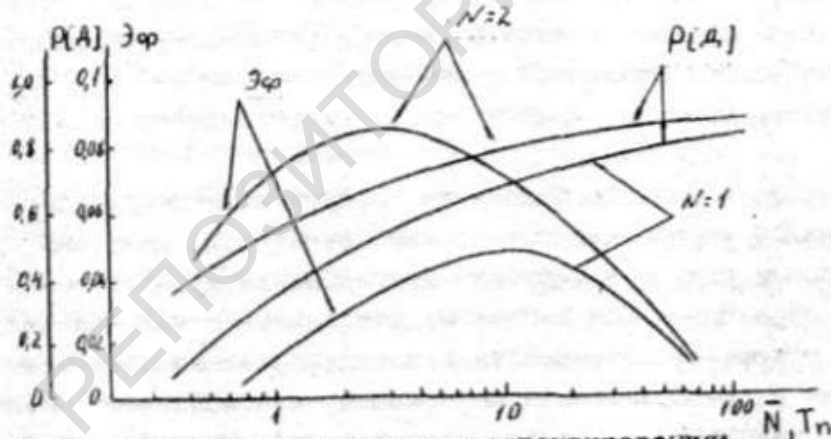


Рис. 3. Эффективность системы детектирования:

N - число импульсов в цуге

Разработанный профилометр поверхности позволяет определять дальность до поверхности с высоты до 1000 м.

Литература

Г. Малевич И.А. Методы и электронные системы анализа оптических процессов. - мн.: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1981. - 383с.