

* *
*

УДК 551.46.07

DOI: 10.17223/00213411/62/9/165

А.И. ПОТЕКАЕВ^{1,2}, А.А. ЛИСЕНКО³, В.С. ШАМАНАЕВ³

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА БАТИМЕТРИЧЕСКОГО ЛИДАРА С ВРЕМЯПРОЛЕТНЫМ МАТРИЧНЫМ SPAD-ФОТОПРИЕМНИКОМ

Методом Монте-Карло получено решение нестационарного уравнения лазерного зондирования в условиях сложной многокомпонентной оптически плотной водной среды с учетом влияния границы раздела вода – воздух, вклада многократного рассеяния излучения морской водой и отражения сигнала от дна. Получены зависимости эхосигнала моностатического лидара с установленным на борту летательного аппарата времяпролетным матричным фотоприемником (Single Photon Avalanche Diode – SPAD) от глубины моря и поверхностного микроволнения для различных углов поля зрения приемника. Результаты исследований показали, что предельная лидарная глубина обнаружения дна до 40–50 м достижима, если оптическая толща воды не превышает 3.5–4. При зондировании дна до предельной глубины 40–50 м в условиях очень прозрачной воды и при наличии френелевского отражения от её поверхности динамический диапазон сигнала от водной толщи достигает 7–9 порядков величины. Показано, что лидарная система с матричным детектором для зондирования морской воды может быть реализована на современном техническом уровне. Энергетические уровни сигналов такого лидара при благоприятных условиях обеспечивают зондирование водной толщи до глубины 40–50 м.

Ключевые слова: лидар, оптика океана, многократное рассеяние света, глубина моря.

Введение

Результаты лидарных измерений глубины моря [1–3] выявили физические и технические проблемы как регистрации, так и интерпретации сигналов, основные из которых связаны с высокой мутностью воды [4, 5] и необходимостью весьма высокого временного разрешения [6, 7]. Диапазон длин волн лазеров, пригодных для зондирования воды, физически ограничен синезелёной областью спектра. Лазеры при этом должны быть импульсными и работать в наносекундном диапазоне длительностей. При измерении глубины особое внимание следует уделить френелевскому отражению излучения лазера от поверхности воды и многократному рассеянию света. При этом теоретически и экспериментально показано, что оптическая толща τ от поверхности воды до дна не должна превышать $\tau = 3.75\text{--}4.0$ [5]. Это ограничение связано с динамическим диапазоном принимаемого сигнала [5].

Имеющиеся аналитические приближения для решения уравнения переноса не в состоянии воссоздать полную картину формирования поля отраженной радиации, учитывающую все вышеперечисленные факторы. Единственная возможность учета сложной картины взаимодействия излучения с рассеивающей и отражающей средой – это статистический подход к решению уравнения переноса [5].

В данной работе исследуются зависимости эхосигнала моностатического лидара от глубины моря для различных углов поля зрения приемника. При этом методом Монте-Карло решается нестационарное уравнение переноса лазерного излучения в морской воде с учетом влияния границы раздела воздух – вода, вклада многократного рассеяния света и Ламбертова отражения от морского дна.

Приближения, модели и геометрия решаемой задачи зондирования

Рассмотрим импульсную моностатическую лазерно-локационную систему, установленную на авианосителе, движущемся со скоростью V на высоте H , и зондирующую морскую поверхность без учета атмосферных условий, но с использованием стробирования. Полагаем, что лазерное излучение посылается вертикально вниз, проходит через поверхность раздела воздух – вода, поглощается и рассеивается в воде, отражается от дна моря, пересекает границу вода – воздух и принимается детектором. Расстояние от лидара до дна включает в себя как высоту полёта H , так и глубину слоя воды h (без учёта её показателя преломления света). Полагаем, что коэффициент отражения от дна равен ρ . При этом сигнал лазерного локатора определяется сигналами однократного

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>