УДК 551.501

М.Л.Белов, С.В.Березин, В.И.Козинцев,
В.А.Городничев, Ю.В.Федотов

НИИ радиоэлектроники и лазерной техники
Московского технического университета им. Н.Э.Баумана

ЛИДАРНЫЙ МЕТОД ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НЕФТЯНЫХ ПЛЕНОК НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрена задача дистанционного измерения толщины нефтяных пленок на водной поверхности и разработан метод дистанционного контроля нефтяных загрязнений, основанный на использовании перестраиваемого по длине волны лазера, измерении интенсивности отраженного сигнала от длины волны и применении специального алгоритма обработки результатов лазерных измерений. Показано, что разработанный метод дистанционного контроля и алгоритмы обработки принимаемых сигналов для лазерного измерителя позволяют с приемлемой точностью устанавливать толщину пленок нефтепродуктов на водной поверхности (в том числе и взволнованной морской поверхности).

The problem of remote measurement of oil films thickness on the water surface has been considered. A method of remote control of oil pollution has been developed. The method is based on wavelength tunable laser use, intensity measurements of the return signal and the application of special algorithms of laser processing measurements.

It has been shown, that the developed method of remote control and algorithms of received signals processing for the laser measuring device allow the user with a reasonable accuracy to establish oil films thickness on the water surface (including the disturbed sea surface).

Для успешного решения проблем охраны окружающей среды, в первую очередь необходим постоянный оперативный контроль за экологическим состоянием воздушного и водного бассейнов и промышленных объектов. Важнейшей задачей экологического мониторинга водных масс является контроль нефтяных загрязнений прибрежных морей и внутренних водоемов России.

В последние годы в спектре хозяйственной деятельности на океанах и морях все большее значение приобретает добыча нефти в прибрежных районах морей. Именно здесь наиболее ярко проявляются отрицательные последствия активной хозяйственной деятельности человека. В прибрежных зонах морей, особенно внутренних (замкнутых и полузамкнутых), в последние годы быстро нарастает концентрация загрязняющих веществ, которые затем распространяются и в открытые районы океана.

Для контроля нефтяных загрязнений прибрежных морей и внутренних водоемов России наиболее перспективными являются средства дистанционного зондирования с авиационных носителей, использование которых позволяет значительно повысить оперативность наблюдения и проводить обзор больших акваторий за короткий промежуток времени.

Одним из наиболее перспективных дистанционных методов зондирования является лидарный. Он не требует естественного освещения, пригоден для широкого диапазона атмосферных условий независимо от времени суток, обладает высокой пространственно-угловой разрешающей способностью, возможностью фильтрации и временного стробирования полезного сигнала на фоне помех (солнечных бликов, импульсов обратного рассеяния от атмосферных слоев и т.п.).

Физической основой измерения толщины нефтяных пленок на водной поверхности методом активной лазерной локации является зависимость коэффициента отражения системы воздух – пленка нефти – вода от толщины пленки и длины волны излучения.*

* *Борн М.* Основы оптики / М.Борн, Э.Вольф. М.: Наука, 1970. 855 с.

Согласно известным способам измерения толщины пленки, основанным на использовании перестраиваемого по длине волны излучения лазера и регистрации зависимости интенсивности отраженного излучения от длины волны, толщину пленки определяют, проводя анализ зависимости интенсивности отраженного сигнала от длины волны и измеряя расстояния между экстремумами (максимумами или минимумами) или число экстремумов на диапазоне перестройки длины волны излучения лазерного источника.

Недостатком этих способов является невозможность измерения толщины тонких пленок, когда число экстремумов зависимости интенсивности отраженного излучения от длины волны становится меньше двух. Для измерения толщины тонких пленок нефтепродуктов, когда на диапазоне перестройки имеется лишь один экстремум или даже ни одного, разработан алгоритм обработки, согласно которому измеренная зависимость интенсивности отраженного сигнала от длины волны излучения аппроксимируется некоторой заданной функцией, например, функцией, представляющей собой выражение для коэффициента отражения трехслойной системы воздух – пленка нефти – вода или синусоидальной функцией.

Аппроксимация осуществляется методом наименьших квадратов по полученным отсчетам принятого сигнала на выбранном диапазоне длины волн. Ищется глобальный минимум функции среднеквадратического отклонения аппроксимирующей функции и данных измерений. Параметры аппроксимации (а значит, и толщина нефтяной пленки) определяются численно при наилучшем соответствии данных измерений аппроксимирующей функции.

Показано, что разработанный метод дистанционного контроля нефтяных загрязнений с использованием перестраиваемого по длине волны лазера, измерении интенсивности отраженного сигнала от длины волны и применении алгоритма обработки, основанного на аппроксимации измеренной зависимости интенсивности отраженного сигнала от длины волны излучения некоторой заданной функцией, может быть использован для контроля толщины пленок нефтепродуктов на взволнованной морской поверхности.

Для проверки работоспособности описанного алгоритма проводилось математическое моделирование измерения толщины пленок нефтепродуктов на водной поверхности.

При проведении математического моделирования диапазон перестройки длины волны лазера был выбран равным 9-11 мкм, а число длин волн на диапазоне перестройки – 100.

Результаты математического моделирования показывают, что разработанный алгоритм, основанный на аппроксимации измеренной зависимости интенсивности отраженного сигнала от длины волны излучения и поиске параметров аппроксимации для наилучшего согласия данных измерений аппроксимирующей функции, позволяет с приемлемой точностью восстанавливать толщину тонких пленок нефтепродуктов на водной поверхности (в том числе и взволнованной морской поверхности).