

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Н.И. Иванов¹, А.В. Балаклеяский²

(¹Академия гражданской защиты Украины, Харьков,

²Украинский научно-исследовательский институт пожарной безопасности, Харьков)

В статье предложен комплекс радиотехнических средств дистанционной регистрации (обнаружения, измерения) нефтяных разливов для проведения экологического мониторинга водных и земных поверхностей. Приведены результаты измерений спектральных характеристик нефтепродуктов.

экологический мониторинг, радиотехнические средства, разливы нефти

Постановка проблемы. В настоящее время актуальной задачей является проведение экологического мониторинга нефтяных загрязнений земной поверхности и водных акваторий для обеспечения оперативного контроля деятельности промышленных предприятий и устранения антропогенных воздействий на окружающую среду [1].

Анализ литературы. Нефтяные загрязнения относятся к наиболее частым, и в то же время чрезвычайно опасным техногенным ситуациям, оказывающим негативное влияние на природные экосистемы [2 – 4]. Практически во всех случаях появление нефти и нефтепродуктов в окружающей среде сопровождается уничтожением живого и растительного мира, деградацией почв и ландшафтов, загрязнением подземных и поверхностных вод. Наибольший вред экологии наносится аварийными разливами нефти, возникающими при разгерметизации технологического оборудования, а также пожарами, которые, как свидетельствует статистика, происходят вследствие 30% всех случаев утечек [5].

Помимо сопутствующего загрязнения подстилающей поверхности, при пожарах происходит также интенсивное химическое (токсичные углеводородные соединения, озон) и физическое (инверсия тепловой энергии) загрязнение атмосферы.

Глобальной экологической проблемой для человечества в настоящее время является загрязнение нефтепродуктами Мирового океана. Ежегодно в него поступает около 10 млн. тон нефти и нефтепродуктов. Результаты исследований Земли из космоса показали, что приблизительно 30% всей водной поверхности покрыто нефтяными пленками. Основными источни-

ками нефтяного загрязнения акваторий являются поступления с суши, эксплуатация наливного флота и добыча нефти на шельфе.

Обеспечение экологической безопасности объектов нефтепромышленного комплекса, прежде всего, связано со своевременным обнаружением факта и места разлива нефти и нефтепродуктов, т.е. на той начальной стадии, когда существует возможность максимально ограничить ущерб природе. Определение местонахождения утечки особенно актуально при транспортировке нефти магистральными трубопроводами, протяженность которых не редко исчисляется сотнями и тысячами километров. В случае попадания нефти в водные акватории, эффективность проведения уборочных мероприятий определяется получением оперативной информации о распространении и границах разлива, его составе и толщине.

Цель статьи. В данной статье рассматривается разработка комплекса технических средств дистанционного обнаружения и контроля параметров разливов нефти и нефтепродуктов на подстилающих поверхностях.

Основная часть. При разработке комплекса технических средств зондирования разливов нефти было предусмотрено довольно сложное, но полезное сочетание инфракрасных и радиотехнических приемных устройств. Инфракрасные системы обладают высокой разрешающей способностью и позволяют достаточно точно измерять толщину разлива d , радиосистемы обеспечивают всепогодность измерений яркостной температуры $T_{я}$.

Для создания радиотехнических средств были изготовлены и исследованы высокочувствительные детекторы миллиметрового диапазона на основе n -InSb [6]. Образцы имели концентрацию носителей зарядов $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и подвижность электронов $\sim 1,3 \cdot 10^5 \dots 5 \cdot 10^4 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$. Проведенные измерения на длинах волн 0,5...4 мм при комнатных, азотных и гелиевых температурах (300 К; 77 К; 4,2 К) показали высокую вольтваттную чувствительность S ($\sim 10^5 \text{ В/Вт}$), а также пороговую чувствительность к тепловому излучению P_n ($\sim 10^{-12} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$) разработанных детекторов. Необходимо отметить, что высокочувствительные InSb-детекторы по отмеченным выше характеристикам превзошли существующие промышленные аналоги [7].

В обнаружении разливов нефти и нефтепродуктов важно определять коэффициенты излучения α и яркостную температуру $T_{я}$ объектов. Для этих целей с использованием полученных InSb-детекторов были собраны и исследованы следующие радиотеплолокационные устройства:

1. Измерение α нефтепродуктов проводилось с использованием лабораторного макета модуляционного радиометра Дайка мм диапазона – высокочувствительного приемного устройства, предназначенного для обнару-

жения и измерения как широкополосных, так и узкополосных сигналов [8]. Определены технические характеристики радиометра S и Pn InSb-детектора, его инерционность $\tau \sim 10^{-7}$ с. В диапазоне длин волн 0,5 ... 4 мм получены следующие значения излучательной способности: для нефти $\alpha = 0,76$; солярового масла $\alpha = 0,73$; керосина $\alpha = 0,62$; бензина $\alpha = 0,62$.

2. Дистанционные измерения $T_{я}$ нефтяной пленки проводились в широком диапазоне электромагнитных волн $10^{13} \dots 10^{14}$ ГГц на радиометре прямого видеодетектирования тепловых сигналов [9]. Его блок-схема представлена на рис. 1.

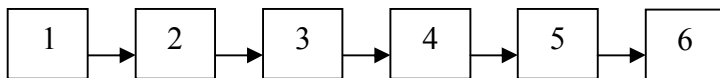


Рис. 1. Блок-схема радиометра прямого видеодетектирования тепловых сигналов нефти

На схеме: 1 – рупорная антенна; 2 – модулятор сигнала; 3 – фильтр; 4 – малошумящий детектор на основе InSb; 5 – селективный усилитель «Унипан» и 6 – самописец.

Результаты измерений показали, что $T_{я}$ нефтяной пленки в мм диапазоне гораздо выше, чем в инфракрасном, субмиллиметровом и сантиметровом. Измерения проводились дистанционным методом с расстоянием 1 ... 5 м на стационарных платформах при температуре воздуха 16 ... 18 °С; температуре нефти и воды 18,5 ... 19 °С. Толщина нефтяной пленки составляла 0,1 ... 1 мм. Радиометр надежно работал при солнечной засветке и в ночное время, виброустойчив, прост в настройке благодаря применению в качестве приемника теплового излучения детекторов на основе InSb.

Для обеспечения всепогодности обнаружения нефтяных разливов разработан и исследован СВЧ обнаружитель нефтяных пленок (НП) на водной поверхности, реализующий принцип активной локации на длине волны $\lambda = 8$ мм [10]. На рис. 2 приведена упрощенная функциональная схема СВЧ обнаружителя НП.

На схеме: 1 – приемопередающая антенна; 2 – направленный ответвитель; 3, 6 – вентили; 4 – СВЧ генератор; 5, 7 – СВЧ детекторы опорного и отраженного каналов; 8, 9 – усилители; 10, 12 – линейные детекторы; 11 – измеритель отношения; 13 – индикатор.

Проведенные измерения минимально обнаруживаемой мощности $P_{н}$ отраженной от поверхности НП и границы раздела нефть-вода на удалении 500 ... 4000 мм показали высокую эффективность локатора при обнаружении нефтяной пленки в мм диапазоне длин волн. Использование

диодов на основе InSb позволяет на порядок увеличить чувствительность и обнаружительную способность локатора.

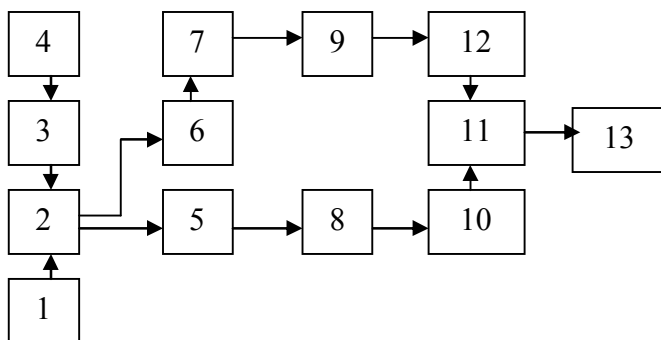


Рис. 2. Функциональная схема СВЧ обнаружителя НП

Для измерения толщины нефтяных пленок в диапазоне длин волн 2-20 мкм в условиях воздействия солнечной радиации разработан и исследован ИК-радиометр на основе пироэлектрического детектора МГ-30 [11]. Блок-схема радиометра представлена на рис. 3.

На схеме показаны следующие блоки: 1 – исследуемый объект (структура нефтяная пленка – вода); 2 – модулятор; 3 – АЧТ; 4 – детектор типа МГ-30; 5 – селективный усилитель типа «Унипан-278»; 6 – блок питания.

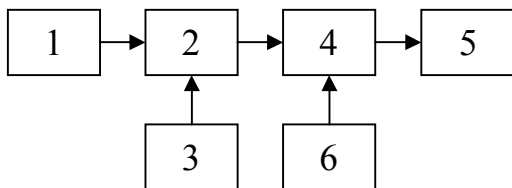


Рис. 3. Блок-схема ИК-радиометра

Основные технические характеристики ИК-радиометра: тепловая флуктуационная чувствительность ΔT – не хуже 0,1 К; температура АЧТ – 600 К; диапазон длин волн теплового излучения – 2 – 20 мкм; ширина диаграммы направленности объектива по уровню половинной мощности теплового излучения – 40 град.; нестабильность калиброванного уровня сигнала в течение 5 часов работы не более 5%; частота модуляции – 15 – 127 Гц.

Полученные результаты измерений влияния толщины нефтяной пленки d на ее излучательную способность α и радиационный контраст N при значениях потоков солнечной радиации порядка 100 Вт/м² и 200 Вт/м² позволяют оценить возможность дистанционного измерения толщины нефтяного разлива ($d = 0,1 \dots 1$ мм) ИК-радиометром в диапазоне длин волн 2 – 20 мкм в условиях солнечной засветки.

Выводы. Разработанный комплекс радиотехнических средств позволяет: 1) со стационарных площадок круглосуточно проводить оперативное обнаружение аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на территориях нефтепромышленных объектов; 2) с борта самолетов (вертолетов) обеспечивать всепогодный мониторинг и измерять параметры нефтяных разливов на поверхности земли и воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А.М., Гончаров А.К., Перельматор И.Б., Шмельков К.И. Концепция создания оперативной аэрокосмической системы мониторинга нефтяных загрязнений акваторий // Дистанционные методы и аппаратура получения данных о природных ресурсах Земли и окружающей среде. Серия А. Труды НПО «Планета». – 1993. – Вып. 42. «Гидрометеиздат». – С. 5 – 16.
2. Сайт «Экологический портал». – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecoport.ru/>.
3. Сайт «Эко нео». – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.econeo.ru/>.
4. Сайт «Нефть и экология». – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecooil.far.ru/>.
5. Балаклейский А.В. Анализ пожарной опасности разливов нефти и нефтепродуктов // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. АПБУ МВД Украины. – Х.: Фолио. – 2002. – Вып. 11. – С. 9 – 16.
6. Иванов Н.И., Иванова Е.П., Балаклейский А.В. Разработка малошумящего детектора миллиметрового диапазона для дистанционного обнаружения разливов нефти // Сб. научн. тр. – Х.: ХИПБ МВД Украины. – 1999. – Вып. 6. – С. 59 – 62.
7. Иванов Н.И., Артеменко О.А., Курская Т.Н., Тюрин С.А. Дистанционный анализатор нефтепродуктов на водной поверхности // Материалы конференции «Экология» – 98. – Северодонецк. – 1998. – С. 119 – 120.
8. Иванов Н.И., Иванова Е.П., Балаклейский А.В. Тепловое излучение нефтепродуктов в миллиметровом диапазоне длин волн // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Х.: ХИПБ. – 2000. – Вып. 7. – С. 99 – 101.
9. Иванов Н.И., Иванова Е.П., Балаклейский А.В. Спектральный анализ яркостной температуры нефтяной пленки на поверхности воды // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Х.: ХИПБ. – 2000. – Вып. 7. – С. 95 – 98.
10. Иванов Н.И., Иванова Е.П., Балаклейский А.В. СВЧ обнаружитель разливов нефти на водной поверхности // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Х.: ХИПБ. – 2000. – Вып. 9.
11. Иванов Н.И., Балаклейский А.В., Иванова Е.П. Дистанционное зондирование нефтяных разливов в ИК-диапазоне // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. АПБУ МВД Украины. – Х.: Фолио. – 2002. – Вып. 11. – С. 94 – 96.

Поступила 29.04.2005

Рецензент: доктор физико-математических наук, профессор А.П. Созник,
Академия гражданской защиты Украины, Харьков.