УДК 504.064.36:574:627.356.2

П.П. БЕСКИД, М.А. НИЛОВ, А.Д. ШИШКИН
Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Рассмотрена радиолокационная система экологического мониторинга прибрежных акваторий промышленных зон, состоящая из нескольких разнесенных береговых постов. Каждый пост содержит два радара сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Обработка информации заключается в накоплении и комплексировании данных для выделения пространственных различий и временных изменений радиолокационных изображений. Используются амплитудные и спектрально доплеровское различия отражений от чистой и загрязненной водной поверхности.

The radar system of ecological monitoring of coastal water areas of industrial zones is considered. The system consists of the several coastal posts. Each post contains two radars of X and K ranges. The processing of the information consists in accumulation and combination of the data for allocation of spatial distinctions and temporary changes of the radar images. Are used contrast of amplitude and Doppler specter of reflections from the clean and polluted water surface.

Актуальность разработки радиолокационной системы экологического мониторинга прибрежных акваторий с интенсивным судоходством, особенно нефтеналивных портов, обусловлена необходимостью обеспечения охраны Мирового океана. Настоящая работа посвящена экологическому контролю российской зоны Финского залива, что обусловлено интенсификацией перевозок существующими портами и строительством новых сухогрузных и нефтеналивных портов в заливе. Работа отражает результаты проведенных исследований по созданию комплексной системы контроля прибрежных акваторий, объединяющей разнородные технические средства: радары различных диапазонов волн, лазерные локаторы – лидары, пассивные оптические и инфракрасные приемники, радиометры, сонары и гидролокаторы, а также контактные датчики. Предпочтительность радиолокационных методов связана с возможностью оперативного, дистанционного и всепогодного обнаружения загрязнений. Целью исследований является разработка принципов функционирования и построения радиолокационных систем (РЛС) наземного базирования, специализированных для контроля ограниченных акваторий с интенсивной хозяйственной деятельностью. Использование РЛС аэрокосмического базирования нецелесообразно по экономическим соображениям и из-за перерывов в наблюдении при перемещении носителя. Между тем в зонах интенсивного судоходства существуют системы управления движением судов (СУДС). Модернизация этих радаров позволит на порядок и более снизить стоимость разработки систем экологического мониторинга.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- Выявление контраста отражений от загрязненной и чистой водной поверхности при малых углах скольжения, свойственных наземному базированию РЛС.
- Разработка оптимизированных структурных схем комплексной системы в целом и отдельных РЛС. Выбор основных пара-

метров РЛС и алгоритмов комплексирования данных и обмена данными между отдельными подсистемами.

• Экспериментальная апробация в реальных условиях основных теоретических положений.

• Оценка возможности построения радиолокационных систем рассматриваемой специализации на базе существующих систем и модернизации их с учетом экономических факторов.

Особенностью зондирования морской поверхности радиолокаторами наземного базирования при малых углах скольжения луча антенны относительно объекта является малая удельная эффективная площадь рассеяния моря. В отсутствие гравитационно-капиллярных волн, ответственных за резонансное рассеяние радиоволн сантиметрового диапазона, радиолокационные отражения от морской поверхности при малых углах скольжения практически отсутствуют. Однако для бассейна Финского залива условия штиля не характерны.

Тонкая нефтяная пленка при слабом волнении сглаживает рябь, а при сильном волнении ее наличие уменьшает число обрушивающихся гребней волн и, следовательно, образование брызг и пены. В обоих случаях изменяется уровень рассеяния сигнала, проявляющийся в отрицательном радиолокационном контрасте нефтяного пятна. Благоприятными для радиолокационного обнаружения при малых углах скольжения можно считать условия, соответствующие диапазону малых и умеренных скоростей ветра. Большее рассеяние получается при вертикальной поляризации зондирующего сигнала.

Анализ известных данных и собственные исследования и расчеты позволяют считать достаточным энергетический потенциал РЛС сантиметрового диапазона, входящих в состав СУДС, для обнаружения нефтяных пятен (НП) в акватории порта Санкт-Петербург. Предлагается использовать указанные РЛС для решения задачи экологического мониторинга без внесения изменений в алгоритмы решения основных задач СУДС. Для этого ответвляющиеся выходные сигналы с приемников РЛС следует обрабатывать автономно, используя специальные аппаратно-программные средства, не нарушающие регламент основной работы СУДС. РЛС миллиметрового диапазона обеспечивают большую, чем РЛС сантиметрового диапазона, эффективность обнаружения неоднородностей (сликов) на морской поверхности при малых углах скольжения в отсутствие осадков.

Рассматриваемая система экологического контроля может быть построена на основе недорогих судовых навигационных РЛС, однако вычисления показывают, что условия обнаружения загрязнений радиолокаторами СУДС соответствуют энергетическому выигрышу в 20-25 дБ относительно типовой судовой навигационной РЛС. Дальность обнаружения НП с вероятностью 0,9 при ложной тревоге не более 10^{-4} достигает 10 км. Использование специальных алгоритмов обработки сигналов, основанных на априорном знании пространственных и временных характеристик загрязнений, повышают эффективность обнаружения на 10-15 дБ. Долговременная архивация данных СУДС обеспечивает возможность определения вероятного источника разлива, т.е. идентификацию судна-нарушителя. Измерение динамических характеристик НП (скорость растекания, перемещения и т.п.), позволяет ориентировочно определить объем разлива и прогнозировать его развитие.

Так как невозможно смоделировать реальную ситуацию в акватории по разливу нефти, эксперименты проводились с использованием естественных сликов в качестве моделей нефтяных разливов. Правомерность их использования представляется очевидной не только с экономических позиций, но, главное, из-за сходства их влияния на морскую поверхность, заключающегося в сглаживании относительно коротких гравитационных и капиллярных ветровых волн. Относительное сглаживание морского волнения происходит на отмелях и на участках, расположенных у защищенной от ветра стороны островов с лесной растительностью. Объектами, соз-

дающими ветровые тени, при экспериментах служили «берега» фарватера порта Санкт-Петербург, образованные отвалами земли при углублении дна фарватера. На этих искусственных островах есть растительность, способная быть преградой ветру. Частота появления таких объектов на контролируемой акватории достаточна для проведения систематических исследований. Ветровой слик может служить моделью нефтяного слика из-за отсутствия разницы в причине успокоения волн. Разлив нефти на разных стадиях создает разный контраст волнения относительно чистой воды. Мели различной глубины создают различающийся контраст морского волнения относительно глубокой воды. Разные ветровые преграды производят разный контраст волнения относительно открытого моря. Контраст слика любой природы зависит также от скорости ветра. Слик исчезает при безветрии и разрушается штормом. Вышесказанное служит обоснованием правомерности использования слика произвольной природы в качестве модели для исследования характеристик обнаружения нефтяного слика с помощью наземной РЛС и оптимизации параметров последней. Важной частью исследований является испытание и развитие методов повышения эффективности радиолокационного зондирования морской поверхности при малых углах скольжения.

Главным практическим результатом работы является экспериментальное подтверждение эффективности экологического контроля прибрежной акватории наземными РЛС. При использовании радиолокаторов «Балтика-Б» (миллиметрового диапазона), «Furuno FR-7062» и «Icom MR-1000T» (сантиметрового диапазона), устанавливаемых либо на берегу, либо на судах, проведено исследование характеристик обнаружения сликов. Работы проведены совместно с АО «Морские комплексы и системы», предприятием «Равенство». Получено большое количество радиолокационных изображений, снятых РЛС различных параметров в разных метеоусловиях с целью анализа формы и динамики сликов (перемещение, растекание, фрагментация и т.д.). Дальность обнаружения сликов на ветровых тенях достигает 6-7 км. Подтверждена теоретически обоснованная зависимость удельной эффективной площади рассеяния взволнованной морской поверхности от соотношения направления зондирования и направления движения волн. Проведено обнаружение устойчивых (время наблюдения 10-20 мин) сликов неизвестного происхождения (наиболее вероятно, на отмелях), сликов на кильватерных следах.