

УДК 504.064.3; 621.3.091

Е.Н. Воробьев

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУАКТИВНЫХ РЛС
ДЛЯ МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ В ЦЕЛЯХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧС**

Обозначены основные источники возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на морских акваториях, предупреждение которых возможно с помощью полуактивных радиолокационных станций (ПАРЛС). Рассмотрены преимущества и недостатки ПАРЛС. Рассмотрены особенности сигналов подсвета цели и методы подавления прямого сигнала. Основной проблемой при использовании ПАРЛС является прием мешающих сигналов. Для подавления нежелательного прямого сигнала от источника подсвета существуют эффективные методы селекции. Сформулирована проблема, требующая разработки эффективных методов подавления мешающих сигналов от соседних с целью участков морской поверхности.

Экологический мониторинг; полуактивная радиолокация; сигнал подсвета; предотвращение ЧС.

E.N. Vorobev

**FEATURES OF SEMI-ACTIVE RADARS FOR MONITORING WATER AREAS
IN ORDER TO PREVENT EMERGENCIES**

Identified the main sources of potential emergency situations (ES) for marine waters, prevention of which is possible with the help of semi-active radar (PARLS). The advantages and disadvantages of PARLS. The characteristics of the signals target illumination and suppression methods of the direct signal. The main problem with using PARLS is receiving interference signals. To suppress unwanted direct signal from the source of illumination, there are effective methods of selection. Formulated problem that requires the development of effective methods of suppressing interfering signals from neighboring areas to the sea surface. The problem, which requires the development of effective methods suppression of interference signals from adjacent to target areas of the sea surface, are formulated.

Ecological monitoring; semi-active radar; illumination signal; preventing of emergencies.

Поверхность морских акваторий ежедневно подвергается опасности возникновения ЧС, которые наносят колоссальный вред экологии. Источником экологической опасности являются факторы как природного, так и антропогенного характера.

Основными источниками антропогенного воздействия на экологию морских акваторий являются проводимые человеком мероприятия по добыче и транспортировке углеводородов.

В настоящее время изучение результатов производственной деятельности на шельфе морей как в России, так и за рубежом производится, в основном, по двум направлениям: контроль загрязнения водной среды и оценка изменений экологической обстановки в отдельных регионах. При этом не производится оценка степени возможного риска, связанного с гидрофизическими параметрами, а также прогноз состояния акваторий.

На сегодняшний день известно немало экологических катастроф, произошедших в результате утечки и разлива нефти. В условиях морской обстановки обнаружение, сопровождение и ликвидация нефтяных пятен существующими методами осложняется из-за больших расстояний и тяжелых природно-климатических условий. В этой связи в основе современной системы экологического мониторинга должен преимущественно лежать принцип прогнозирования нежелательной ситуации, а не реагирование на уже сложившуюся ЧС. Для этого необходимо контролировать гидрофизические факторы, которые могут влиять на безопасность нефтедобывающего комплекса.

К важным гидрофизическим параметрам относятся волнение морской поверхности, направление поверхностных течений, а также, в связи с активно развивающейся нефтедобычей и увеличением судоходства в Арктических регионах, – ледовая обстановка.

В качестве метода оценки обозначенных гидрофизических параметров предлагается использование полуактивных РЛС (ПАРЛС), работающих по сигналам стороннего источника. ПАРЛС представляет собой многопозиционную систему, состоящую из одного или нескольких источников сигнала подсвета цели (область морской поверхности) и одной или нескольких приемных станций, разнесенных в пространстве и связанных между собой в единую систему обработки радиолокационной информации. В этом случае сторонний источник облучает цель, а РЛС принимает отраженный целью сигнал и выполняет обнаружение и измерение координат цели (рис. 1).

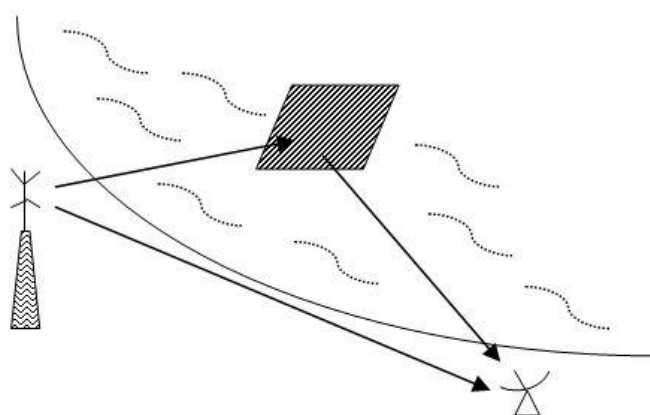


Рис. 1. Однопозиционная ПАРЛС

ПАРЛС имеют ряд преимуществ по сравнению с активными системами. Основные преимущества следуют из отсутствия собственного радиопередатчика. При этом не требуется выделение дополнительного радиочастотного ресурса, снижается вредное воздействие на экологию окружающей среды и человека. Такие радиолокаторы не создают взаимных помех, более экономичны в производстве и эксплуатации по сравнению с активными системами [1].

ПАРЛС имеют ряд недостатков. Самый существенный недостаток – сложность обработки, так как полуактивная радиолокация осуществляется в условиях помех, к которым, прежде всего, относится прямой сигнал стороннего источника, а также переотражения сигнала от соседних с исследуемой областью морской поверхности участков.

Помимо гидрофизических факторов, нельзя исключать возможность возникновения ЧС на нефтедобывающих платформах в связи с умышленными повреждениями трубопроводов (теракты). В условиях морской обстановки террористической угрозы следует ожидать от низколетящих летательных аппаратов. В настоящее время активно развивается использование ПАРЛС для обнаружения низколетящих целей.

В статье анализируются особенности использования различных сигналов подсвета для решения поставленных задач, а также методы подавления мешающих сигналов.

Возможные источники радиолокационного подсвета. Определять гидрофизические параметры представляется возможным с помощью РЛС, работающих в дкм-диапазоне. Результаты исследований [2] показывают, что резонансный характер взаимодействия радио- и морских волн и детерминированная фазовая скорость последних позволяют связать основные параметры морского волнения и возбуждающего его ветра с параметрами спектра отраженного морем сигнала.

Специфический характер спектра отраженного морем сигнала, в котором всегда присутствуют брегговские линии, позволяет достаточно надежно фиксировать границы типа "земля–море" и "лед–море". Это позволяет обнаруживать с помощью КВ РЛС свободные ото льда участки моря, определять границы ледовых полей, обнаруживать и сопровождать отдельные льдины и айсберги на больших дистанциях.

Поэтому наибольший интерес представляют источники подсвета, работающие в КВ-диапазоне. Кроме того, источники должны обеспечивать сплошное радиолокационное поле на большой территории, круглосуточное вещание и стабильность характеристик сигнала.

Обозначенным требованиям удовлетворяют сигналы радиовещания, аналогового телевидения, а также получившие в последние годы практическое применение технологии цифрового радиовещания (DRM). Для обнаружения низколетящих целей перспективно использование в качестве подсвета сигналов цифрового ТВ.

Пространственное покрытие радиовещательных станций в КВ-диапазоне охватывает обширные территории далеко за горизонтом, что позволяет производить радиолокационный мониторинг морской поверхности в любом месте Земного шара. Однако, в силу ограничений, накладываемых ионосферой на допустимую ширину спектра сигнала $10 \div 100$ кГц, потенциальная разрешающая способность по дальности ограничена $1,5 \div 15$ км [3].

Сигналы аналогового телевизионного вещания рассматривались как наиболее пригодные для радиолокационного подсвета со времен создания первых ПАРЛС и до появления служб цифрового радиовещания. В спектре полного ТВ-сигнала выделяют три наиболее энергоемких составляющих: несущая сигнала яркости, модуляционная составляющая сигнала яркости, включая сигнал цветности, и сигнал звукового сопровождения. Потенциальная разрешающая способность по дальности для сигнала яркости $600 \div 1500$ м и на порядок ниже для сигнала звукового сопровождения – $1,5 \div 15$ км. Функция неопределенности сигналов яркости и звукового сопровождения имеет достаточно большой уровень боковых лепестков, достигающий в среднем -8 дБ, что приводит к ухудшению характеристик обнаружения.

При использовании аналогового ТВ-вещания как источника сигнала подсвета ПАРЛС наилучшие характеристики обнаружения и разрешения могут быть достигнуты при комплексировании обработки всех трех составляющих [4].

Сторонние источники сигналов DRM представляют интерес из-за способности коротких волн распространяться за горизонт: за счет рефракции – через ионосферу (на расстояние приблизительно от 800 до 3000 км при одном отражении от ионосферы); или за счет дифракции – вдоль поверхности Земли. Это дает возможность размещать приемные позиции на больших расстояниях от источника подсвета. По сравнению с сигналами радиовещания с амплитудной модуляцией (АМ), которое также ведется на КВ, сигналы DRM предпочтительнее, так как эффективная ширина спектра передаваемых DRM-сигналов, влияющая на разрешающую способность системы по дальности, практически не зависит от содержания (контента).

Для подсвета низколетящих целей в районах нефтедобычи, а также вблизи портов энергетических сооружений перспективно использовать усовершенствованные сигналы цифрового телевидения DVB-T2. В России для вещания в этом стандарте выделены полосы радиочастот метрового ($174\text{--}230$ МГц) и дециметрового диапазонов ($470\text{--}790$ МГц) [5].

По сравнению с сигналами DRM сигналы цифрового телевидения DVB-T2 обеспечивают существенно более высокую разрешающую способность по дальности (может достигать значения 19,6 м) благодаря большей ширине спектра, но меньшую дальность действия, так как, во-первых, дециметровые волны не обладают способностью загоризонтного распространения, присущей декаметровым волнам, и, во-вторых, передатчики DVB-T2 имеют меньшую мощность. Повышенная точность обнаружения также обуславливается распространением сигнала стороннего источника по прямой траектории, в то время как в КВ-диапазоне волны распространяются через ионосферу по криволинейной траектории, при этом для определения значения длины пути распространения КВ нужно знать параметры ионосферы.

Методы подавления мешающих сигналов. Приемная станция полуактивной системы осуществляет корреляционное обнаружение отраженного от цели сигнала, а образцовый сигнал принимается вспомогательной антенной. Для данного типа ПАРЛС характерно наличие мешающего прямого сигнала, проникающего по боковым лепесткам основной антенны.

Для эффективного обнаружения цели необходимо обеспечить подавление прямого сигнала на 80–110 дБ [3]. Отечественными специалистами предлагаются следующие эффективные методы селекции прямого и отраженного сигналов [1]:

- ◆ Электродинамическое экранирование прямого сигнала. Сетчатый экран, установленный между приемной антенной РЛС и источником сигнала подсвета, может подавить прямой сигнал на величину 40–50 дБ, для реальных размеров экрана (15×15 м) – более 30 дБ. Недостатки экрана – стационарность, сложность монтажа, парусность. Альтернатива – размещение приемника с учетом особенностей рельефа местности, в области радиотени.
- ◆ Поляризационная режекция прямого сигнала. Источники сигнала подсвета излучают обычно радиоволны с горизонтальной поляризацией, при отражении от цели происходит деполяризация и появление кроссполяризации. При приеме только кроссполяризированной составляющей энергетические потери составят 3 дБ, тогда как подавление прямого сигнала может достигать 10 дБ.
- ◆ Пространственная когерентная компенсация прямого сигнала. При обработке в ДН основной антенны формируется ноль в направлении на передатчик.
- ◆ Спектрально-временная режекция прямого сигнала. Определяется видом функции неопределенности сигнала передатчика и рассогласованием прямого и отраженного сигналов по задержке и частоте. Для сигналов подсвета с угловой модуляцией (звуковое вещание с частотной модуляцией) можно использовать метод демодуляции (сжатия по спектру) прямого сигнала с последующей спектральной режекцией и когерентным накоплением. Для сигналов с шумоподобной структурой и амплитудно-фазовой модуляцией (аналоговое и цифровое телевидение и радиовещание) этот метод не эффективен.

Совокупность предложенных методов позволит обеспечить подавление прямого сигнала на следующие величины: 92 дБ – для сигнала яркости аналогового ТВ, 115 дБ – для звукового вещания с ЧМ, 129 дБ – для цифрового телевидения.

При осуществлении мониторинга морской поверхности методами ПАРЛС возникает проблема, связанная с переотражениями от гравитационно-капиллярных волн областей, соседних с исследуемой. В настоящий момент не предложено эффективных методов подавления мешающих переотражений. Этот аспект является перспективным для дальнейших исследований.

Использование ПАРЛС для обеспечения мониторинга акваторий в целях предотвращения ЧС является целесообразным в связи с острой необходимостью прогнозирования гидрофизических параметров акваторий вблизи шельфов и на маршрутах транспортировки углеводородов. Кроме того, представляется возможным использование ПАРЛС для контроля несанкционированных полетов малой авиации с целью предотвращения терактов и связанных с ними ЧС, опасных для экологии.

В качестве подсвета интересующей области морской поверхности перспективно использовать источники DRM-сигналов в связи с обозначенными преимуществами цифрового радиовещания над аналоговыми источниками коротковолнового излучения.

Для контроля воздушного пространства предлагается использовать источники вещания цифрового телевидения. Благодаря свойствам DVB-T2-сигнала ПАРЛС УКВ-диапазона обладают высокими техническими характеристиками, а также простотой и дешевизной конструкции (по сравнению с активными РЛС и ПАРЛС КВ-диапазона).

Основной проблемой при использовании ПАРЛС является прием мешающих сигналов. Для подавления нежелательного прямого сигнала от источника подсвета существуют эффективные методы селекции. Разработка методов подавления перетражений от соседних с целью областей представляет научный интерес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Охрименко А.Е., Пархоменко Н.Г., Семашко П.Г.* Методы подавления прямого сигнала в радиолокаторах с подсветом от широковещательных передатчиков // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2011. – № 5. – С. 77-82.
2. *Joseph W. Maresca, James R. Barnum.* Theoretical Limitation of the Sea on the Detection of Low Doppler Targets by Over-the-Horizon Radar // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 1982. – Vol. AP-30, № 5.
3. *Пархоменко Н.Г., Семашко П.Г.* Потенциальные характеристики полуактивных радиолокационных систем с посторонним подсветом // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 4. – С. 85-89.
4. *Семашко П.Г., Пархоменко Н.Г., Охрименко А.Е.* Перспективы полуактивной радиолокации в связи с развитием служб цифрового радиовещания // Успехи современной радиоэлектроники. – 2010. – № 7. – С. 38-46.
5. Государственная комиссия по радиочастотам. Протокол № 12–14 заседания ГКРЧ от 16 марта 2012 г.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Б. Митько.

Воробьев Евгений Николаевич – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); e-mail: vorobuevgeniy@gmail.com; г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5; тел.: +79046416249; студент магистратуры.

Vorobev Evgeniy Nikolaevich – Electrotechnical University "LETI"; e-mail: vorobuevgeniy@gmail.com; 5, Professor Popov street, Saint Petersburg, Russia; phone: +79046416249; student of master course.