

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ, МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 621.396.96

НАВИГАЦИОННЫЕ ГРУППОВЫЕ РАДИООПТИЧЕСКИЕ ОТРАЖАТЕЛИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

© 2023 г. Н. К. Блинковский^{а,*}, В. Л. Гулько^а, А. А. Мещеряков^а

^аТомский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40

*e-mail: nkblink@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.10.2022 г.

После доработки 23.11.2022 г.

Принята к публикации 27.12.2022 г.

Разработаны конструкции навигационных групповых радиооптических отражателей кругового действия. Приведены результаты экспериментальных исследований их характеристик рассеяния в составе плавучего буя. Получены сравнительные оценки дальности видимости плавучих буюв, оборудованных групповыми радиооптическими отражателями, в оптическом и радиолокационном диапазонах длин волн. Экспериментальные исследования проводились в Обском бассейне внутренних водных путей — на реках Обь и Томь.

DOI: 10.31857/S0032816223030023, EDN: IRASOP

ВВЕДЕНИЕ

Плавучие буи конической или цилиндрической формы широко используются для обозначения навигационной обстановки на внутренних водных путях. Для визуального наблюдения плавучих буюв в темное время суток применяются электрические светосигнальные приборы кругового действия [1]. Для увеличения радиолокационной дальности видимости плавучие буи оснащаются пассивными радиолокационными отражателями со всенаправленными в горизонтальной плоскости характеристиками рассеяния [2–4]. Для обеспечения высоких значений эффективной площади рассеяния (ЭПР) и всенаправленных характеристик обратного рассеяния плавучие буи оборудуют преимущественно кольцевыми или сферическими решетками (группами), состоящими из стандартных радиолокационных отражателей уголкового или полусферического типа [5–8]. Реже используют биконические отражатели и линзовые отражатели Лüneберга, обладающие низкой механической прочностью [9–11].

Среди известных групповых отражателей кругового действия наибольшее применение в навигации получили радиолокационные отражатели на основе октаэдрной компоновки трехгранных уголкового отражателей (УО) с квадратной, секторной или треугольной формой граней [12–14]. Достоинствами групповой октаэдрной компоновки трехгранных УО являются высокое значение ЭПР, практически всенаправленная характеристика обратного рассеяния в горизонтальной

плоскости, простота изготовления и механическая прочность. Для предотвращения ухудшения отражательных свойств при наклоне или вынужденных колебаниях плавучего буя были разработаны эффективные групповые трехгранные УО различной конфигурации, обладающие улучшенными характеристиками обратного рассеяния как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях [15–17].

Недостатком используемых в навигации радиолокационных отражателей кругового действия являются их ограниченные функциональные возможности, проявляющиеся в том, что они работают только в радиолокационном диапазоне длин волн, выполняя функции пассивных отражателей электромагнитных волн, излучаемых судовой радиолокационной станцией (РЛС), и не обладают функциями активного источника света со всенаправленной в горизонтальной плоскости характеристикой светорассеяния в оптическом диапазоне длин волн.

Совместное использование электрических светосигнальных и радиолокационных средств в составе плавучих буюв, безусловно, повышает безопасность судоходства, но при этом увеличиваются габариты и масса навигационного оборудования, что влечет за собой ухудшение устойчивости плавучего буя при воздействии ветра и при волнении водной поверхности. В работе [18] авторами были предложены и разработаны радиооптические УО направленного действия, совмещающие одновременно функции светосигнальных

приборов и радиолокационных отражателей. Приведены их экспериментальные характеристики рассеяния в оптическом и радиолокационном диапазонах длин волн. Отмечена высокая эффективность использования радиооптических отражателей (РОО) в составе линейных створов на внутренних водных путях — на реках Обь и Томь.

Целями настоящей работы являются разработка навигационных групповых РОО кругового действия с расширенными функциональными возможностями в оптическом диапазоне длин волн и экспериментальные исследования их характеристик рассеяния в оптическом и радиолокационном диапазонах длин волн в составе плавучих биев на внутренних водных путях Обского бассейна.

ГРУППОВОЙ РАДИООПТИЧЕСКИЙ ОТРАЖАТЕЛЬ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Ограждение судового хода на внутренних водных путях Обского бассейна плавучими биеми носит сезонный характер и осуществляется на период текущей навигации. Конструкция РОО кругового действия должна обеспечивать надежную защиту от механических повреждений при сезонной расстановке плавучих биев на внутренних водных путях и в процессе эксплуатации. За основу конструкции РОО кругового действия была выбрана групповая октаэдрная компоновка трехгранных УО с треугольными гранями. Известно, что направленность характеристик рассеяния трехгранных УО зависит от формы грани. Наиболее широкой диаграммой обратного рассеяния (ДОР) обладают трехгранные УО с треугольной формой граней. При этом конструкция группового отражателя оказывается компактной и механически наиболее жесткой.

Навигационный групповой РОО кругового действия в радиолокационном диапазоне длин волн включает в себя группу из восьми трехгранных УО. Каждый УО состоит из трех плоских взаимно перпендикулярных металлических или металлизированных треугольных отражающих граней одинаковых размеров, фазовые центры рассеяния которых совпадают и находятся в вершинах трехгранных УО [19].

Групповой радиолокационный отражатель ориентирован относительно горизонтальной плоскости так, что плоскости раскрывов двух противоположно направленных трехгранных УО, входящих в группу, расположены перпендикулярно вертикальной оси, проходящей через их вершины, и совпадают с горизонтальной плоскостью. Шесть других трехгранных УО расположены вокруг вертикальной оси, проходящей через их фазовые центры рассеяния перпендикулярно горизонтальной плоскости, и формируют круговую ДОР в этой

плоскости в радиолокационном диапазоне длин волн.

Для одновременной работы РОО кругового действия в радиолокационном и оптическом диапазонах длин волн в вершинах каждого из шести трехгранных УО установлены источники света. Они выполнены в виде светоизлучающих полупроводниковых диодов, формирующих круговую диаграмму светорассеяния в горизонтальной плоскости.

Конструкция РОО кругового действия приведена на рис. 1.

Вершина каждого УО одновременно является его фокусом в оптическом диапазоне длин волн и фазовым центром рассеяния в радиолокационном диапазоне длин волн (источники света первого 1, третьего 3, четвертого 9 и шестого 11 УО на рис. 1 не показаны).

Геометрическая ось симметрии каждого УО является его оптической осью в оптическом диапазоне длин волн и электрической осью в радиолокационном диапазоне длин волн (геометрические оси первого 1, второго 2, четвертого 9 и пятого 10 УО на рис. 1 не показаны). Геометрическая ось симметрии в каждом УО проходит через его вершину перпендикулярно плоскости раскрыва.

Седьмой и восьмой УО, плоскости раскрывов которых совпадают с горизонтальной плоскостью и не формируют ДОР в этой плоскости, на рис. 1 не показаны.

В радиолокационном диапазоне длин волн РОО кругового действия работает как групповой УО, формирующий круговую ДОР. При падении электромагнитной волны на треугольные грани каждого из шести трехгранных УО после трехкратного отражения формируется электромагнитная волна, распространяющаяся в направлении, обратном направлению падения. Это свойство обратного отражения у каждого из шести трехгранных УО, входящих в группу, сохраняется в области главного лепестка ДОР. При этом максимум ЭПР σ_m у отдельных трехгранных УО соответствует случаю, когда направление падающей электромагнитной волны совпадает с электрической осью соответствующего отражателя. Ширина ДОР на уровне $0.5\sigma_m$ у каждого из шести трехгранных УО составляет 42° в горизонтальной и вертикальной плоскостях [20].

Радиооптический отражатель кругового действия в оптическом диапазоне волн работает следующим образом. Светоизлучающие полупроводниковые диоды излучают вдоль оптических осей в горизонтальной и вертикальной плоскостях конические световые пучки с угловой шириной $2\alpha \geq 90^\circ$. Световой поток, попадая на взаимно перпендикулярные треугольные грани каждого из шести трехгранных УО, после трехкратного отражения концентрируется ими на выходах в све-

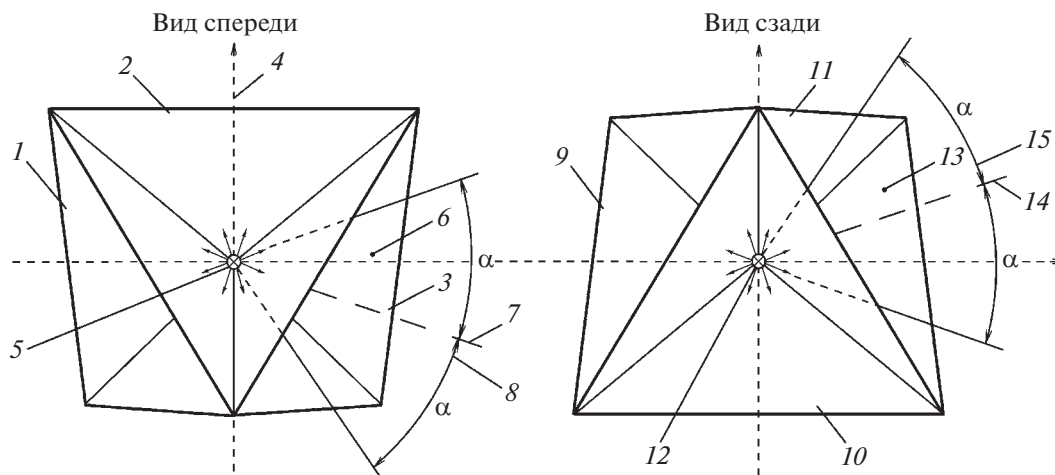


Рис. 1. РОО кругового действия. 1, 2, 3 – первый, второй и третий трехгранные УО с равными треугольными гранями; 4 – вертикальная ось, проходящая через совпадающие вершины УО перпендикулярно горизонтальной плоскости; 5 – источник света, расположенный в вершине второго УО; 6 – плоскость раскрытия третьего УО; 7 – геометрическая ось симметрии третьего УО; 8 – угол излучения 2α источника света третьего УО; 9, 10, 11 – четвертый, пятый и шестой трехгранные УО; 12 – источник света, расположенный в вершине пятого УО; 13 – плоскость раскрытия шестого УО; 14 – геометрическая ось симметрии шестого УО; 15 – угол излучения 2α источника света шестого УО относительно его оптической оси 14.

товые пучки большей силы света I_m с угловой шириной на уровне $0.5I_m$, равной 42° в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. При этом оптические оси в каждом из шести УО совпадают с их электрическими осями. Поэтому угловая ширина светового потока, излучаемого каждым из шести УО на уровне $0.5I_m$ в горизонтальной и вертикальной плоскостях в оптическом диапазоне длин волн, совпадает с угловой шириной главного (основного) лепестка ДОР на уровне $0.5\sigma_m$ в этих плоскостях в радиолокационном диапазоне длин волн и составляет 42° .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования проводились в Обском бассейне внутренних водных путей на реках Обь и Томь для оценки дальности видимости плавучих буйев в оптическом и радиолокационном диапазонах длин волн.

Объектами экспериментальных исследований являлись:

- плавучий буй цилиндрической формы с электрическим светосигнальным прибором (ЭСП-90);
- плавучий буй цилиндрической формы с РОО кругового действия с металлизированными гранями;
- плавучий буй цилиндрической формы с РОО кругового действия с металлизированными светоотражающими гранями.

Внешние виды цилиндрических буйев со светосигнальным прибором ЭСП-90 и с РОО кругового действия представлены на рис. 2.

Плавучий буй цилиндрической формы с ЭСП-90 представляет собой металлический поплавок, надводная часть которого выполнена в виде цилиндра, окрашенного с учетом судоходной обстановки в красный цвет. Для обеспечения движения судов в темное время суток на его горловине в верхней части цилиндра установлен электрический светосигнальный прибор кругового действия ЭСП-90. Высота надводной части цилиндрического буйа составляет 1.4 м, а его диаметр – 0.85 м. Высота расположения огня ЭСП-90 над уровнем воды равна 1.7 м.

Плавучий буй цилиндрической формы с РОО кругового действия с металлизированными гранями обеспечивал одновременную работу в радиолокационном и оптическом диапазонах длин волн. В вершинах трехгранных УО были установлены источники света, выполненные в виде светоизлучающих полупроводниковых диодов направленного действия типа LED-001W-02C-040-050LM-EL-P с красным цветом свечения сигнального огня. Длина ребра треугольной грани в каждом из шести трехгранных УО составляла 30 см. Средняя ЭПР РОО кругового действия в горизонтальной плоскости составила 9.2 м^2 для длины волны 3.2 см. Высота фазового центра рассеяния РОО кругового действия над водной поверхностью равна 1.9 м.

Экспериментальная ДОР РОО кругового действия в радиолокационном диапазоне приведена

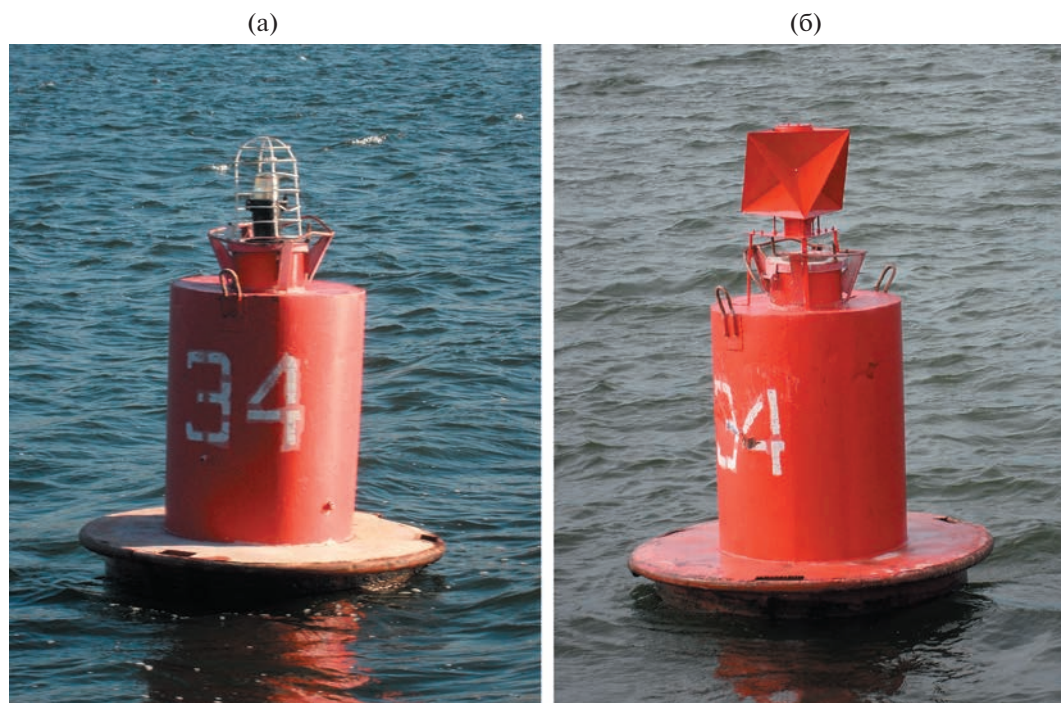


Рис. 2. Внешний вид цилиндрического буйа: а — со светосигнальным прибором ЭСП-90; б — с РОО кругового действия.

на рис. 3. Уровню 0 дБ соответствует ЭПР 10 м^2 . Максимумы шести широких основных лепестков ДОР соответствуют направлениям 0° , 60° , 120° , 180° , 240° , 300° и совпадают с проекциями электрических осей трехгранных УО на горизонтальную плоскость. Максимальная ЭПР основных

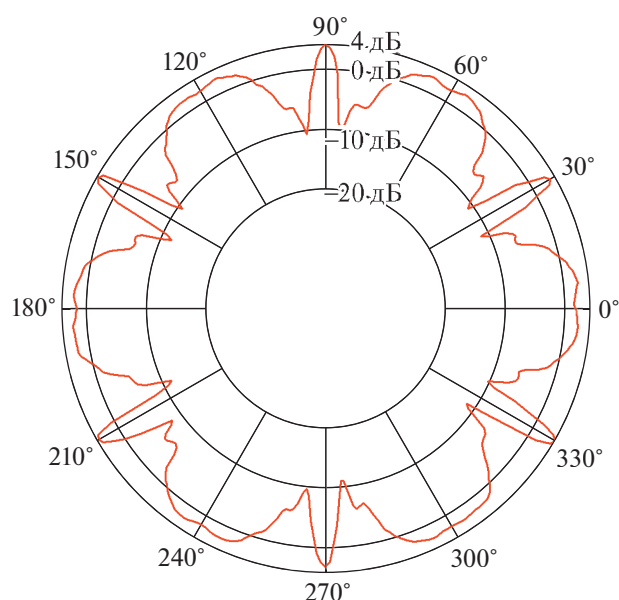


Рис. 3. Экспериментальная ДОР РОО кругового действия в горизонтальной плоскости.

лепестков при трехкратном отражении от треугольных граней УО составила 18.0 м^2 . Максимумы шести узких лепестков ДОР соответствуют направлениям 30° , 90° , 150° , 210° , 270° , 330° . Максимальная ЭПР узких лепестков составила 25.8 м^2 . Между широкими и узкими лепестками ДОР наблюдаются 12 провалов, величина которых в среднем составила -13.3 дБ относительно уровня широких основных лепестков.

Для увеличения оптической дальности видимости светосигнальных огней металлизированные грани РОО были покрыты светоотражающей пленкой [21]. На рис. 4 представлен РОО кругового действия с металлизированными гранями, покрытыми светоотражающей пленкой. При этом РОО со светоотражающими гранями обеспечивал подачу не только активных светосигнальных огней, но и пассивных навигационных огней при облучении их судовыми прожекторами в темное время суток.

Экспериментальная круговая диаграмма излучения светового потока в горизонтальной плоскости для РОО со светоотражающими гранями приведена на рис. 5. Неравномерность круговой диаграммы излучения светового потока составила не более 2 дБ. На круговой диаграмме излучения направления 0° , 60° , 120° , 180° , 240° и 300° совпадают с проекциями оптических осей на горизонтальную плоскость УО, входящих в группу. За нулевое направление излучения выбрана про-



Рис. 4. Внешний вид РОО кругового действия со светоотражающими гранями. 1 – светоотражающая пленка, 2 – светоизлучающий диод.

екция оптической оси на горизонтальную плоскость одного из шести УО.

В ходе экспериментальных исследований проводилась оценка радиолокационной и оптической дальности видимости плавучего буя с ЭСП-90 и плавучего буя с РОО кругового действия с металлизированными и с металлизированными светоотражающими гранями, а также оценка дальности видимости их сигнальных огней в темное время суток.

За радиолокационную дальность видимости принималось наибольшее расстояние, с которого судоводитель отчетливо видел на экране индикатора кругового обзора судовой РЛС яркостную отметку в виде точки или дужки от обнаруживаемого навигационного объекта относительно неподвижных меток дальности.

Под оптической дальностью видимости буя в светлое время суток принималось наибольшее расстояние, с которого судоводитель отчетливо различал его силуэт и цвет.

За оптическую дальность видимости сигнального огня от ЭСП-90 или от РОО кругового действия в темное время суток принималось наибольшее расстояние, с которого судоводитель отчетливо различал его цвет.

Экспериментальная оценка радиолокационных характеристик рассеяния исследуемых объектов проводилась с использованием судовых РЛС импульсного действия Р-722-2 [22] и непрерывного действия “Река” [23], расположенных на речном судне. Внешний вид антенн судовых РЛС приведен на рис. 6.

Технические характеристики судовых РЛС представлены в табл. 1.

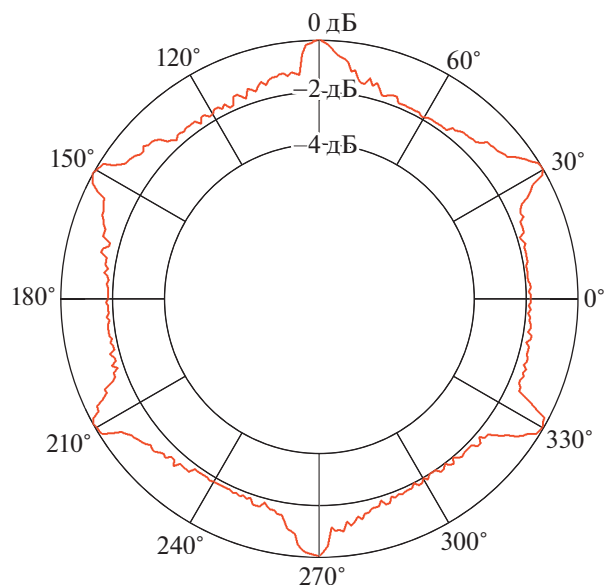


Рис. 5. Экспериментальная круговая диаграмма излучения светового потока в горизонтальной плоскости для РОО со светоотражающими гранями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 7 представлены радиолокационные изображения водного участка реки Томь, полученные с помощью судовой РЛС Р-722-2. Максимальная радиолокационная дальность видимости



Рис. 6. Внешний вид антенн РЛС на речном судне. 1 – антенна судовой РЛС Р-722-2; 2 – антенна судовой РЛС “Река”.

Таблица 1. Технические характеристики судовых РЛС

Характеристики РЛС	РЛС Р-722-2	РЛС “Река”
Режим излучения	Импульсный	Квазинепрерывный с линейной частотной модуляцией
Поляризация излучения	Горизонтальная	Горизонтальная
Частота повторения импульсов, кГц	2	—
Длительность импульсов, мкс	0.2	—
Импульсная мощность передатчика, кВт	6	—
Непрерывная мощность передатчика, Вт	—	1
Несущая частота, МГц	9430	—
Диапазон рабочих частот, МГц	—	9300–9500
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости	1.2°	1.0°
Ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости	25°	30°

плавучего буя со светосигнальным прибором ЭСП-90 составила 500 м (рис. 7а). Максимальная радиолокационная дальность видимости плавающего буя с РОО кругового действия составила 800 м (рис. 7б).

Радиолокационные изображения водного участка реки Томь, полученные с помощью судовой РЛС “Река”, представлены на рис. 8. Максимальная радиолокационная дальность видимости плавающего буя с ЭСП-90 составила 2050 м (рис. 8а),

а плавающего буя с РОО кругового действия — 3250 м (рис. 8б).

Совместные оценки радиолокационной и оптической дальностей видимости исследуемых объектов для различных значений коэффициентов прозрачности атмосферы $\tau_{\text{атм}}$ (0.7 и 0.84) сведены в табл. 2.

На рис. 9 представлены экспериментальные зависимости уровня отраженного сигнала от радиолокационной дальности наблюдения для ци-

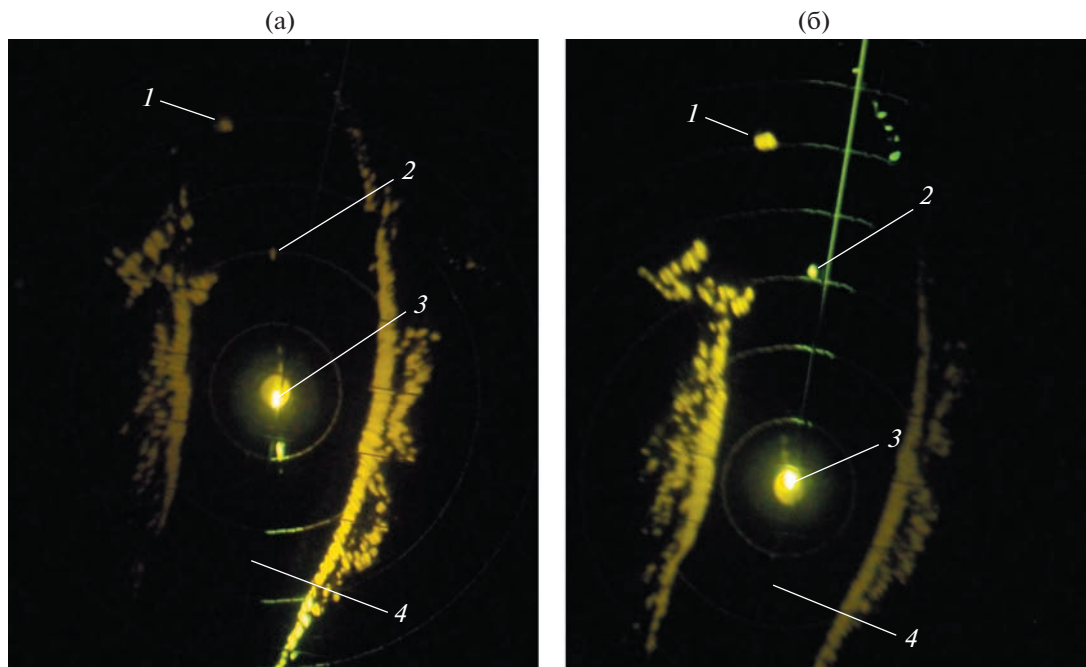


Рис. 7. Радиолокационное изображение участка водного пути реки Томь на индикаторе кругового обзора судовой РЛС Р-722-2: **а** — буй № 34 со светосигнальным прибором ЭСП-90; **б** — буй № 34 с РОО кругового действия. 1 — плавающий кран; 2 — буй № 34; 3 — судовая РЛС; 4 — река Томь.

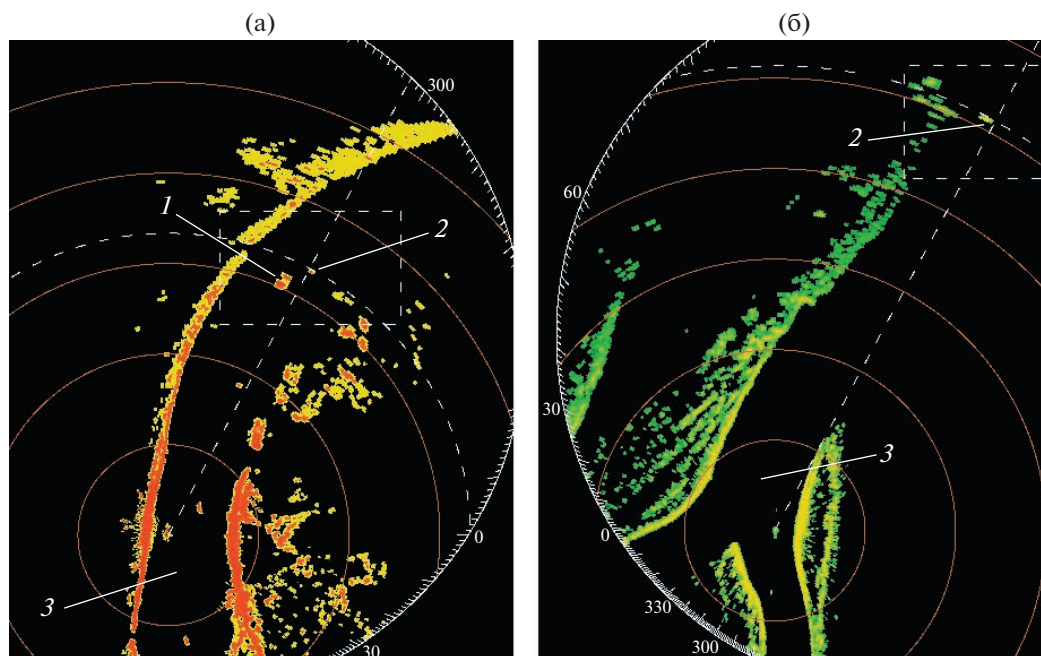


Рис. 8. Радиолокационное изображение участка водного пути реки Томь на индикаторе кругового обзора судовой РЛС “Река”: а – буй № 34 со светосигнальным прибором ЭСП-90; б – буй № 34 с РОО кругового действия. 1 – теплоход с баржей; 2 – буй № 34; 3 – река Томь.

линдрического буя с ЭСП-90 и с РОО кругового действия. Измерения проводились с использованием судовой РЛС “Река”. Для измерения уровня сигнала, отраженного от буя, визирная линия по азимуту на индикаторе кругового обзора РЛС устанавливалась в направлении на исследуемый буй. В память бортовой ЭВМ записывались уровни отраженных сигналов вдоль азимутальной визирной линии радиолокационной развертки по дальности.

Пример радиолокационной развертки по дальности приведен на рис. 10. Визирная линия дальности соответствует 2067 м.

Из анализа рис. 9 следует, что на дальностях свыше 2000 м установка на плавучий цилиндрический буй РОО кругового действия позволила увеличить уровень отраженного сигнала в среднем на 7–10 дБ, что эквивалентно увеличению радиолокационной дальности видимости плавучего

Таблица 2. Радиолокационная и оптическая дальности видимости исследуемых объектов для различных значений коэффициентов прозрачности атмосферы $\tau_{\text{атм}}$

Исследуемый навигационный объект	Время суток	Радиолокационная дальность видимости, м		Оптическая дальность видимости, км, для $\tau_{\text{атм}}$		Дальность видимости проблескового огня, км, для $\tau_{\text{атм}}$	
		Р-722-2	“Река”	0.7	0.84	0.7	0.84
Плавучий буй № 34 с РОО кругового действия с металлизированными гранями	светлое	800	3250	2.2	2.4	—	—
	темное	800	3250	—	—	1.9	2.1
Плавучий буй № 34 с РОО кругового действия с металлизированными светоотражающими гранями	светлое	750	3200	2.2	2.4	—	—
	темное	750	3200	—	—	2.7	3.0
Плавучий буй № 34 с ЭСП-90	светлое	500	2050	2.2	2.4	—	—
	темное	500	2050	—	—	2.0	2.2

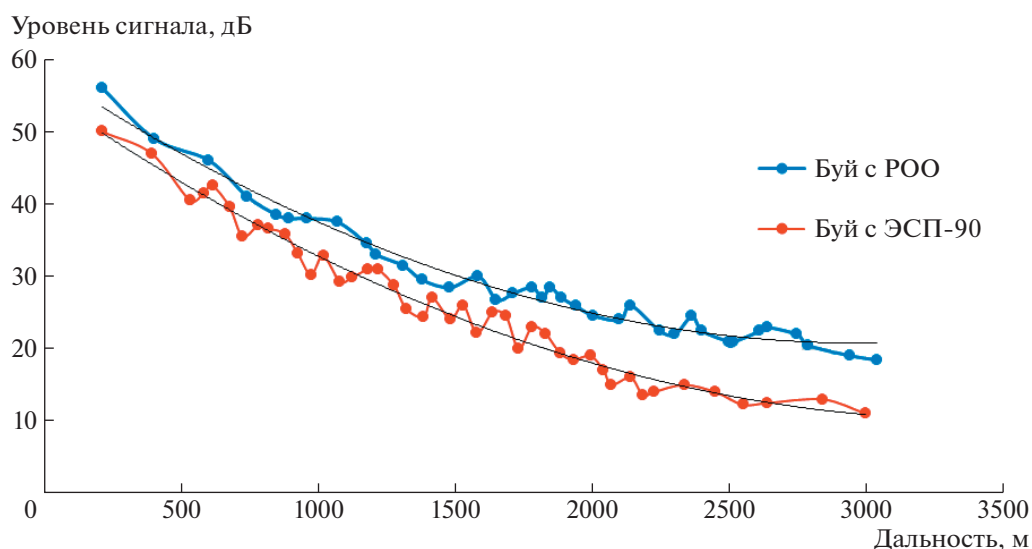


Рис. 9. Экспериментальная зависимость уровня сигнала от дальности радиолокационного наблюдения цилиндрического буя.

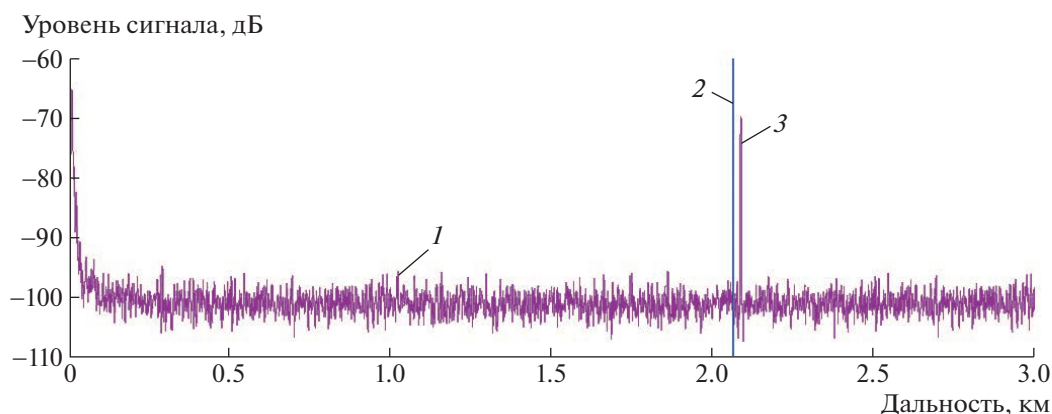


Рис. 10. Радиолокационная развертка по дальности (индикатор типа А). 1 — уровень отражений от водной поверхности; 2 — визирная линия дальности; 3 — уровень отражения от плавучего буя с РОО.

буя в 1.5–1.8 раза. Уровень сигнала оценивался относительно отражений от водной поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Навигационный групповой радиооптический отражатель кругового действия формирует не только круговую в горизонтальной плоскости диаграмму обратного рассеяния в радиолокационном диапазоне длин волн, но и круговую в горизонтальной плоскости диаграмму излучения светового потока в оптическом диапазоне длин волн.

2. Вершина каждого из шести радиооптических уголкового отражателей, входящих в группу, является одновременно фазовым центром рассе-

яния в радиолокационном диапазоне длин волн и его фокусом в оптическом диапазоне длин волн.

3. Геометрическая ось симметрии каждого радиооптического уголкового отражателя, входящего в группу, проходит через вершину перпендикулярно плоскости раскрытия уголкового отражателя и является электрической осью в радиолокационном диапазоне длин волн и его оптической осью в оптическом диапазоне длин волн.

4. Навигационный групповой радиооптический отражатель кругового действия, сохраняя характеристики рассеяния в радиолокационном диапазоне длин волн, обладает расширенными функциональными возможностями в оптическом диапазоне длин волн, обеспечивая подачу активных светосигнальных огней в темное время суток.

5. Экспериментальные исследования показали, что групповой радиооптический отражатель кругового действия в составе плавучего буя увеличивает его оптическую и радиолокационную дальности видимости.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № FEWM-2023-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмерлинг И.Е. Монтёр судоходной обстановки. М.: Транспорт, 1977.
2. ГОСТ Р ИСО 8729-1-2019. Суда и морские технологии. Судовые радиолокационные отражатели. Часть 1. Пассивный тип. М.: Стандартинформ, 2019.
3. СИГВВП. Европейские правила сигнализации на внутренних водных путях. Резолюция № 50. Нью-Йорк, Женева: Издание ООН, 2018. https://un-ece.org/DAM/trans/main/sc3/publications/SIGNI_2019_r.pdf
4. <https://www.sailingissues.com/navcourse9.html>
5. Андреев А.Ю., Киннунен И.И., Кирчаков А.Г. Патент на изобретение № 2 260 885 РФ // Опубликовано 20.09.2005. Бюл. № 26.
6. Бродхерст Д.К. Патент на изобретение № US4996536A США // Опубликовано 26.02.1991.
7. Усанов В.Я., Детиненко С.И., Михайлов Б.Н., Андреев А.Ю. Патент на изобретение № 2 140 690 РФ // Опубликовано 27.10.1999. Бюл. № 30.
8. Селнес Х.В. Патент на изобретение № EP0032604A1 ЕПВ // Опубликовано 29.07.1981.
9. Рэтлифф М. Патент на изобретение № US20120319887A1 США // Опубликовано 20.12.2012.
10. Чжэн Х., Лу Ю., Сунь Я. Патент на полезную модель № CN215155459U КНР // Опубликовано 14.12.2021.
11. Горшков И.А., Рогов Н.В. Патент на изобретение № 2 079 939 РФ // Опубликовано 20.05.1997. Бюл. № 14.
12. Мацikuнас А., Хайкин С., Гринлей Т. Патент на изобретение № US4843396A США // Опубликовано 27.06.1989.
13. https://www.landfallnavigation.com/product-as-sets/manuals/davis/davis_echomaster_00152_153_157.pdf
14. https://www.itonavids.com/bestanden/artikel-en/8/89_NEW_-_ATON_RADAR_REFLECTOR_Type_IRR.pdf?1599481281
15. Спектер Х.Э. Патент на изобретение № US4148033A США // Опубликовано 03.04.1979.
16. Арнс Э. Патент на изобретение № EP1847453A2 ЕПВ // Опубликовано 24.10.2007.
17. Каннинг Ф.Х. Патент на изобретение № US6742903B2 США // Опубликовано 01.06.2004.
18. Блинковский Н.К., Гулько В.Л., Мещеряков А.А. // ПТЭ. 2022. № 5. С. 121. <https://doi.org/10.31857/S0032816222050032>
19. Блинковский Н.К., Гулько В.Л., Крутиков М.В., Мещеряков А.А. Патент на изобретение № 2 617 799 РФ // Опубликовано 26.04.2017. Бюл. № 12.
20. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. М.: Сов. радио, 1975.
21. Блинковский Н.К., Гулько В.Л., Мещеряков А.А. Патент на изобретение № 2 667 325 РФ // Опубликовано 18.09.2018. Бюл. № 26.
22. Байрашевский А.М., Волинец В.Ф., Кононов О.В., Ничипоренко Н.Т., Руденая Г.К., Зимин Н.С. Судовые радиолокационные станции: Атлас. М.: Транспорт, 1986.
23. <https://www.micran.ru/productions/radiolocation/reka/>