

Некоторые особенности обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона гидродинамическими образованиями надводных объектов

В. Г. Гутник, В. Н. Горобец, А. В. Гутник, А. С. Курекин

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: gutnik@rian.kharkov.ua*

Статья поступила в редакцию 2 марта 2005 г.

В работе приведены некоторые экспериментальные характеристики обратного рассеяния радиоволн X-диапазона гидродинамическими образованиями различных надводных объектов. Показано, что основной вклад в сигнал, рассеянный гидродинамическими образованиями, вносят обрушивающиеся корабельные волны. Получены доплеровские спектры сигналов, отраженных от различных движущихся надводных объектов, показана зависимость спектральных характеристик от типов надводных объектов, их скорости и ракурса.

Введение

Теоретические и экспериментальные исследования обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона морской поверхностью, проведенные к настоящему времени, посвящены, как правило, рассеянию ветровыми волнами. Для этого случая выявлен механизм и создана математическая модель обратного рассеяния на основе метода, который является комбинацией теории малых возмущений и приближения геометрической оптики (двухмасштабная модель [1]). Кроме ветровых волн, на водной поверхности могут существовать и другие волны, в частности, волны, обусловленные движением надводного объекта. Это так называемые корабельные волны Кельвина, который впервые теоретически описал условия их возникновения и существования [2]. Характерная картина корабельных волн, создаваемых движущимся надводным объектом, приведена на рис. 1. Важно отметить, что она обладает свойством стационарности [2], которое соблюдается при условии:

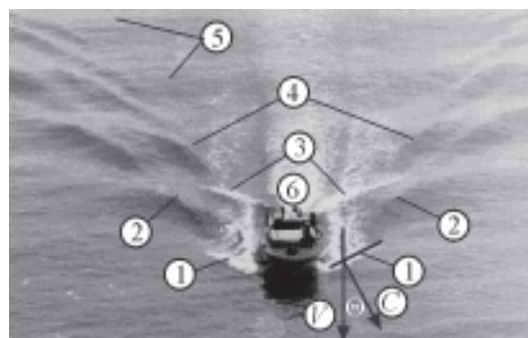


Рис. 1. Корабельные волны движущегося надводного объекта: 1 – гребни обрушивающихся носовых волн; 2 – гребни носовых волн; 3 – гребни обрушивающихся кормовых волн; 4 – гребни кормовых волн; 5 – гребни поперечных волн; 6 – турбулентный след на воде от работающего винта (бурун); V – вектор скорости движущегося надводного объекта; C – вектор скорости распространения волны; Θ – угол между ними

$$C = V \cos \Theta, \quad (1)$$

где C – скорость распространения корабельной волны; V – скорость движения надвод-

ного объекта; Θ – угол между направлениями движения надводного объекта и волны.

Корабельные волны, как и ветровые, являются гравитационными волнами на водной поверхности. Расчетные характеристики обратного рассеяния радиоволн от такого рода образований можно получить в рамках двухмасштабной модели [1]. При типичных режимах движения кораблей и судов на водной поверхности возникают гидродинамические образования в виде обрушивающихся корабельных волн, непосредственно примыкающих к корпусу судна. Обрушение этих нелинейных волн с увеличенной неустойчивой крутизной волнового фронта сопровождается генерацией капельно-брызговой фракции и образованием на поверхности воды характерного пенного следа [3, 4].

Экспериментальные наблюдения обратного рассеяния радиоволн описаны в ряде работ [4-7]. В работе [4] отмечено, что на экранах радиолокаторов наблюдаются характерные следы от движущихся надводных объектов. Авторы считают, что они вызваны отражениями от расходящихся корабельных волн, которые обусловлены изменением характеристик обратного рассеяния радиоволн ветровой рябью из-за ее взаимодействия с корабельными волнами. В работах [5, 6] отмечается, что наряду с сигналом, отраженным движущимся надводным объектом, присутствуют отражения от возмущений водной поверхности, вызванные движением объекта, которые имеют специфические доплеровские спектры. Работа [7] посвящена использованию сигналов, рассеянных движущимся надводным объектом и его гидродинамическими образованиями, в некогерентных радиолокационных системах применительно к решению задач обнаружения.

В работе [8] показано, что при обрушении волн возможно образование пригребневых фокусирующих структур, которые могут давать высокий уровень отраженного сигнала на горизонтальной поляризации в СВЧ диапазоне.

При обрушении примыкающих непосредственно к корпусу движущегося надводного объекта корабельных волн характерна генерация капельно-брызговой фракции [5, 6].

Обратное рассеяние радиоволн СВЧ диапазона от морской поверхности при наличии над поверхностью моря капельно-брызговой фракции обладает рядом особенностей, которые проявляются как в энергетических характеристиках, так и в структуре доплеровских спектров отраженных сигналов [9, 10]. В работах, касающихся движущихся надводных объектов [4-7], эти особенности отражены недостаточно четко.

Кроме того, в литературе отсутствуют данные об особенностях характеристик обратного рассеяния для различных типов надводных объектов.

Целью настоящей работы является получение и систематизация экспериментальных характеристик обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона гидродинамическими образованиями различных надводных объектов.

Методика измерений, аппаратура

Экспериментальные исследования обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона гидродинамическими образованиями надводных объектов проводились в акватории Черного моря при незначительном волнении, порядка $0 \div 1$ балла. Предметом исследований были гидродинамические образования различных движущихся надводных объектов. Большое многообразие надводных объектов классифицируют в соответствии с принципами их поддержания на водной поверхности [11]. Наибольший интерес с нашей точки зрения представляют два основных типа судов, которые по-разному взаимодействуют с водной поверхностью и, соответственно, должны возбуждать на поверхности воды разные гидродинамические образования, а именно:

- водоизмещающие суда, использующие гидростатический принцип поддержания на основе сил Архимеда;

- суда на подводных крыльях и глиссеры, использующие гидродинамический принцип поддержания, основанный на возникновении подъемной силы при движении

Данные об используемых в эксперименте надводных объектах сведены в таблицу.

Таблица.

№	Тип объекта	Принцип поддержания	Длина, м	Ширина, м	Максимальная скорость, м/с
1	БИС-371Г катер	водоизмещающий (гидростатический)	12.1	3.5	5.5
2	БИС-371Г катер	водоизмещающий (гидростатический)	12	3.5	5.2
3	“Стриж” катер	глиссер (гидродинамический)	7	2.5	5.2
4	“Невка” катер	подводные крылья (гидродинамический)	11	3	13.8

Катера БИС-371Г и БИС-371Г одного типа, но разных проектов. Они отличаются друг от друга в незначительной степени длиной, линиями обвода носовой и кормовой частей, водоизмещением. Это классические водоизмещающие суда с гидростатическим способом поддержания, у которых явно выражены системы носовых и кормовых корабельных волн. При исследовании отраженного сигнала эти волны экранировались узкими металлическими листами длиной 5 м с помощью специально разработанной конструкции. При проведении экспериментальных исследований этому классу судов, как наиболее представительному, уделялось больше внимания.

Суда с гидродинамическим способом поддержания в эксперименте использовались в меньшей мере, в основном для выяснения отличий характеристик рассеянного сигнала.

Все движущиеся надводные объекты наблюдались под разными ракурсами, при различных скоростных режимах. В каждом опыте надводный объект двигался с постоянной скоростью, прямолинейно, строго заданным курсом. Это обеспечивало стационарность картины корабельных волн на поверхности воды. Постоянство во времени радиальных составляющих скоростей гидродинамических образований, а следовательно, и доплеровских спектров рассеянных от них сигналов, на протяжении всего опыта обеспечивалось при курсовых уг-

лах $\Psi = 0^\circ$ и $\Psi = 180^\circ$, когда наблюдаемый объект двигался строго на радиолокационную станцию (РЛС) или от нее.

Спектральный анализ позволяет определить не только энергетические характеристики рассеянных сигналов, но и оценить распределения рассеивателей по скоростям при различных режимах движения надводных объектов, что значительно расширяет возможности исследований. Для реализации методов спектрального анализа использовался макет когерентной доплеровской РЛС с непрерывным излучением на частоте около 10 ГГц (длина волны $\lambda = 3$ см), с горизонтальной и вертикальной поляризациями. Основной особенностью этого макета, построенного по традиционным схемам, было то, что сигналы доплеровской частоты на выходе макета РЛС смещены на 1 кГц относительно нулевой доплеровской частоты, что позволяет получать как положительные, так и отрицательные доплеровские частоты. Антенная система макета состоит из двух параболических антенн, приемной и передающей, ширина диаграмм направленности которых по уровню -3 дБ составляет около 2° в обеих плоскостях. Измерительный макет располагался на берегу моря, на высоте 12 м. Эксперименты с надводными объектами проводились для дистанций от 0.15 до 2 км (углы места менее 5°). Для визуального наблюдения исследуемых объектов макет РЛС дополни-

тельно оборудован оптической системой, связанной с антенной системой макета. Потенциал измерительной РЛС калибровался с помощью эталонных шаров и уголкового отражателя. Сигналы доплеровской частоты с выхода макета измерительной РЛС в диапазоне частот $0 \div 20$ кГц анализировались в динамическом диапазоне до 40 дБ окончательным устройством макета – анализатором спектра типа СК4-72 – и параллельно записывались на магнитном накопителе.

Результаты экспериментальных исследований

Был накоплен большой массив записей экспериментальных данных для надводных объектов, движущихся с различными постоянными скоростями и курсовыми углами. Это позволило получать энергетические спектральные характеристики сигналов, рассеянных движущимися надводными объектами и их гидродинамическими образованиями. Эти спектры имеют ряд особенностей. Для всех курсов движения характерно наличие “шумоподобного” участка, который на оси радиальных скоростей занимает значительную область и имеет в большинстве случаев явно выраженный максимум. Положение максимума зависит от скорости и направления движения объекта. Эксперименты показали, что “шумоподобный” участок спектра соответствует отражениям от гидродинамических образований. Форма спектральной плотности отраженного сигнала, взаимное расположение максимумов от возмущений и объекта на оси скоростей, их энергетические соотношения зависят от типов надводных объектов, параметров их движения и состояния взволнованной поверхности моря. Характерные особенности экспериментальных доплеровских спектров в большей степени проявляются при нулевых курсовых углах, соответствующих приближению.

Ниже приведены характерные примеры усредненных энергетических доплеровских спектров сигналов, отраженных от разных типов движущихся надводных объектов. Спектры получены в моменты

времени, когда объекты находились примерно на одинаковом удалении от измерительной РЛС. Для удобства на оси абсцисс вместо доплеровской частоты отложена радиальная составляющая скорости. На рис. 2, а и б приведены примеры спек-

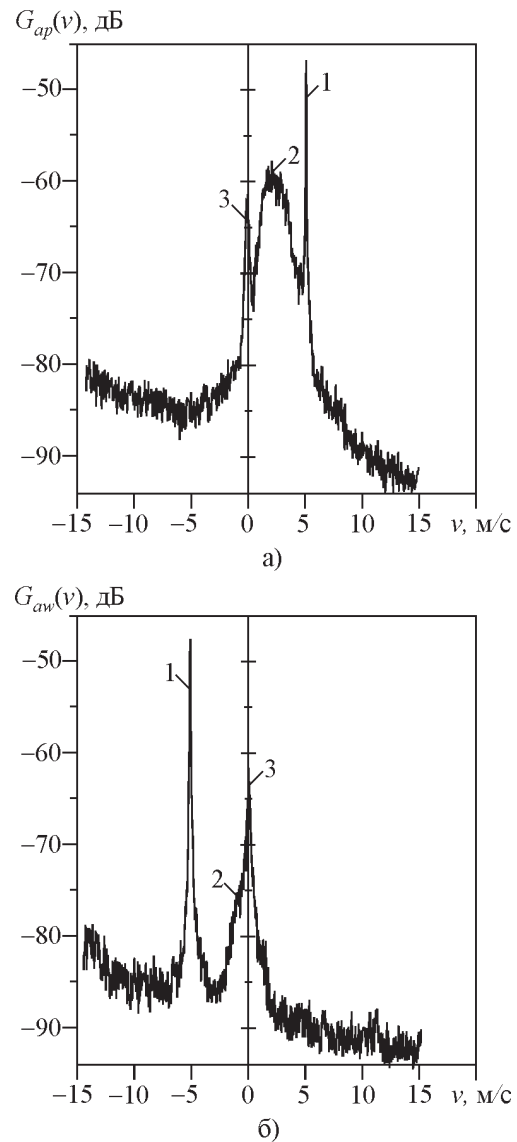


Рис. 2. Пример усредненного спектра сигнала от надводного объекта с гидростатическим способом поддержания (катер БИС): а) – приближение к РЛС; б) – удаление от РЛС.

1 – сигнал, отраженный от катера; 2 – сигнал, отраженный от гидродинамических образований; 3 – сигнал излучаемой частоты

ров (время усреднения 5 с) для водоизмещающего катера БИС при курсовых углах $\Psi = 0^\circ$ ($G_{ap}(v)$) и $\Psi = 180^\circ$ ($G_{aw}(v)$) и максимальной скорости движения.

На рис. 2, а можно выделить три характерных участка спектра: участок 1 отвечает катеру, приближающемуся со скоростью 5.5 м/с; участок 2 – гидродинамическим образованиям, скорости которых лежат в диапазоне от 0 до 5 м/с. Для всех спектров сигналов, полученных с выхода РЛС со смещением нулевой доплеровской частоты, характерно наличие участка 3, соответствующего сигналу излучаемой частоты, на нулевой доплеровской скорости. Это обусловлено тем, что в нашем случае доплеровский сигнал преобразуется не на нулевую частоту, а на частоту 1 кГц, так что в сигнале всегда будет присутствовать составляющая с этой частотой, соответствующая нулевой доплеровской скорости, которую трудно отфильтровать.

На рис. 2, б приведен пример спектра для удаляющегося катера. На нем отчетливо видны характерные участки спектральной плотности: участок 1 отвечает катеру, удаляющемуся со скоростью 5.5 м/с, участок 2 – гидродинамическим образованиям, скорости которых группируются вокруг нулевой, участок 3 – сигналу несущей частоты. Спектральные составляющие, обозначенные цифрой 2, соответствуют сигналам, отраженным от турбулентного следа на поверхности воды (буруна), который обусловлен работающим винтом. Следует отметить, что при других скоростях спектры имеют такой же вид и только на очень малых скоростях в них отсутствуют спектральные составляющие, соответствующие рассеянию от гидродинамических образований. Эксперименты показали, что для катеров типа БИС отражения от гидродинамических образований появляются при скоростях выше 3.5 м/с. Уровень спектральных составляющих, соответствующих гидродинамическим образованиям, в среднем на

15 ÷ 20 дБ меньше уровня спектральных составляющих сигналов от катера. Диапазон радиальных скоростей этих образований занимает область от нулевой до скорости катера (по уровню $-(10 \div 15)$ дБ относительно максимума их спектральной плотности) для скоростей приближающегося катера от 3.5 до 5.5 м/с. При этом необходимо отметить, что при радиальном приближении надводного объекта величина максимума и его положение на оси скоростей практически не зависят от скорости в диапазоне 3.5 ÷ 5.5 м/с, зато заметно зависят от ракурса.

Экранирование носовых и кормовых корабельных обрушивающихся волн для приближающихся водоизмещающих катеров показало, что при углах места менее 5° основной вклад в рассеянный гидродинамическими образованиями СВЧ сигнал вносит система обрушивающихся носовых и кормовых волн, непосредственно примыкающих к корпусу движущегося надводного объекта. Из полученных экспериментальных данных следует, что при экранировании примыкающих корабельных волн уровень отраженного сигнала от них уменьшается на 10 дБ и более.

Проведенные исследования также показали, что спектры сигналов для разных модификаций катеров БИС при одинаковых скоростных режимах существенных отличий не имеют.

Доплеровские энергетические спектры, полученные в опытах с катером “Стриж” (глиссер) в глиссирующем режиме, практически не отличаются от спектров для катеров БИС. Единственное, на наш взгляд, заслуживающее внимания отличие – это меньшая скорость убывания спектральной плотности сигнала от гидродинамических образований у приближающегося глиссера в области более высоких положительных доплеровских скоростей при одинаковых скоростях катеров, что свидетельствует о наличии у глиссера гидродинамических образований с более высокими скоростями.

Энергетические доплеровские спектры сигналов от катера “Невка” (подводные крылья) для скоростных режимов, соответствующих плаванию с полностью погруженным корпусом (малые скорости) и с корпусом, частично вышедшим из воды, (режим глиссера) качественно совпадают со спектрами для катеров с гидростатическим способом поддержания и глиссера. Они не представляют большого интереса, так как эти скоростные режимы не характерны для судна на подводных крыльях.

“Невка” выходит на подводные крылья при скоростях, больших 7 м/с. Примеры спектров сигналов, отраженных от катера на подводных крыльях, движущегося на максимальной скорости (12 ÷ 13 м/с) для случаев приближения и удаления приведены на рис. 3, а и б. Здесь 1 – сигнал, отраженный от катера; 2 – сигнал, отраженный от гидродинамических образований; 3 – сигнал несущей частоты. Из рисунков видно, что уровень отраженного от гидродинамических образований сигнала примерно такой же, как и в случае водоизмещающих судов, спектры которых приведены на рис 2, но есть также существенное отличие. Для удаляющегося катера на подводных крыльях ($\Psi = 180^\circ$) спектр $G_{aw}(v)$ является практически зеркальным отображением спектра $G_{ap}(v)$ для курсового угла $\Psi = 0^\circ$, т. е. в этом случае $G_{aw}(v) \approx G_{ap}(-v)$.

По результатам измерений найдены средние значения эффективных поверхностей рассеяния (ЭПР) гидродинамических образований. ЭПР имеют значения порядка нескольких квадратных метров при вертикальной и горизонтальной поляризациях и соизмеримы с ЭПР надводных объектов, используемых в экспериментах. Получены азимутальные зависимости уровня сигнала, отраженного обрушивающимися корабельными волнами. В большом диапазоне азимутальных углов, примерно $\pm 50^\circ$ относительно радиального приближения, их ЭПР практически не меняется.

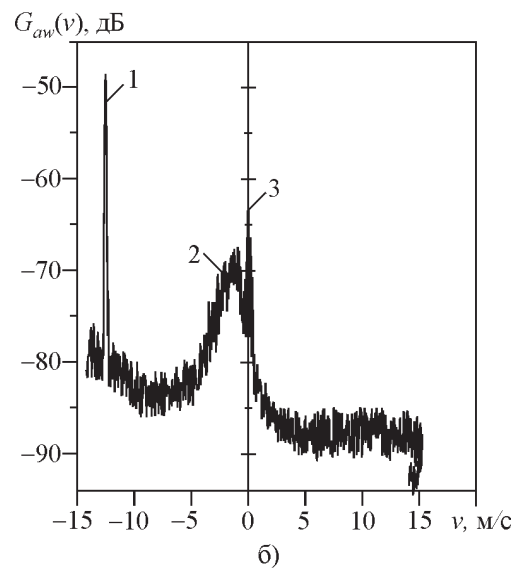
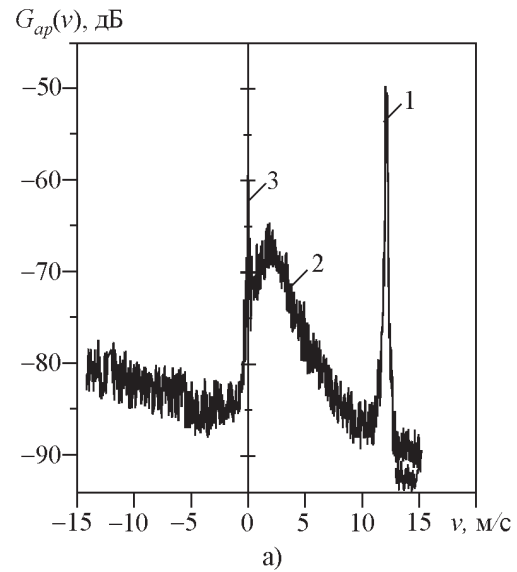


Рис. 3. Пример усредненного спектра сигнала от надводного объекта с гидродинамическим способом поддержания (катер на подводных крыльях “Невка”): а) – приближение к РЛС, б) – удаление от РЛС.

1 – сигнал, отраженный от катера; 2 – сигнал, отраженный от гидродинамических образований; 3 – сигнал излучаемой частоты

Анализ результатов измерений

Доплеровские спектры сигналов, рассеянных гидродинамическими образованиями движущихся надводных объектов, имеют ряд особенностей.

Прежде всего в отраженном сигнале, кроме эхо-сигнала движущегося надводного объекта, присутствуют составляющие, обусловленные обратным рассеянием гидродинамическими образованиями. Исследования с экранированием корабельных волн показали, что под углами места менее 5° при приближении катера существенный вклад в отраженный сигнал вносят примыкающие к объекту корабельные волны, которые в процессе обрушения создают большое количество капель и брызг, распределенных в некотором объеме вдоль гребня волны. Отражения от капельно-брызговой фракции соизмеримы с отражениями от малоразмерных судов и ее ЭПР может достигать 10 м^2 , а в некоторых случаях и превышать эту величину. Сигналы, рассеянные гидродинамическими образованиями, имеют примерно одинаковую интенсивность при использовании горизонтальной и вертикальной поляризаций. Это может свидетельствовать о том, что линейные размеры основной массы рассеивателей не превышают длины волны излучаемого сигнала, т. е. гидродинамические образования не имеют переотражателей с явно выраженной направленностью. Это подтверждается также экспериментальными исследованиями азимутальной зависимости рассеянного сигнала: в секторе азимутальных углов примерно $\pm 50^\circ$ относительно направления на РЛС при приближении или удалении от нее ЭПР гидродинамических образований практически не изменялось.

Для водоизмещающих катеров и глиссеров основная особенность заключается в том, что форма спектральной плотности и уровни спектральных составляющих отраженного под малыми углами места сигнала зависят от ракурса и скорости надводного объекта. Для водоизмещающих катеров характерны две системы обрушивающихся волн – носовые и кормовые. Эксперименты показали, что для объектов типа глиссер существует одна система обрушивающихся волн – кормовые волны. Положение максимума в спектре эхо-сигнала соответствует средней радиальной со-

ставляющей скорости перемещения обрушенной корабельной волны, а его “размытие” связано с отражениями от брызг, которые за время своего существования имеют различные радиальные скорости, вплоть до нулевых.

Скорость распространения гребня обрушивающейся корабельной волны в силу условия (1) должна быть равной $C = V \cos \Theta$. Скорости частиц воды, обрушивающихся с гребня, могут быть равны скорости распространения гребня или превышать ее, причем превышение скорости, по-видимому, зависит от амплитуды обрушивающейся корабельной волны. Используя векторную диаграмму скоростей на рис. 1, можно определить радиальные составляющие скоростей отражателей. При курсовом угле $\Psi = 0^\circ$ они будут равны

$$C_r = C \cos \Theta = V \cos^2 \Theta,$$

где C_r – радиальная составляющая скорости гребня волны. Отсюда

$$\Theta = \arccos \sqrt{C_r/V}.$$

Подставляя экспериментально полученные значения C_r , можно рассчитать среднее значение величины Θ . Расчетное значение средней величины этого угла при постоянных скорости и ракурсе, полученное по 54 спектральным плотностям отраженного сигнала, равно $\Theta \approx 42^\circ$. В экспериментах проведены измерения этого угла с помощью теодолита. Средние измеренные значения угла Θ для большого количества опытов при скоростях катера в диапазоне от 2.5 до 5.5 м/с лежат в пределах $38 \div 40^\circ$. Из литературы [12] известно, что для многих типов судов при их движениях на разных скоростях угол Θ остается почти неизменным и равным $36 \div 40^\circ$. Совпадение измеренных и расчетных значений угла Θ свидетельствует о том, что средняя скорость движения рассеивателей, которая соответствует максимуму участка спектральной плотности, обусловленного гидродинами-

ческими образованиями, практически совпадает со скоростью распространения гребня обрушивающейся волны.

Приведенные факты, а также характер мгновенных спектров отраженных сигналов могут свидетельствовать о том, что сигнал, рассеянный гидродинамическими образованиями, формируется облаком частиц со случайными размерами и скоростями, среднее значение которых совпадает со скоростью распространения гребня обрушивающейся корабельной волны.

Для водоизмещающих катеров при удалении (рис. 2, б) в спектре сигнала отсутствуют отражения от обрушивающейся корабельной волны вследствие того, что при малых углах места происходит затенение фронта обрушивающейся волны и брызг, срывающихся с гребня, самой волной. В спектре сигнала в этом случае присутствуют отражения от объекта и турбулентного следа – буруна. Суда на подводных крыльях возбуждают на поверхности волны корабельные волны малой амплитуды, т. к. у них погружены в воду только крылья, имеющие незначительную площадь. Поэтому для катеров на подводных крыльях при их удалении (рис. 3, б) отражатели экранируются незначительно и форма спектров сигналов для удаления и приближения практически одинакова.

Особенности в спектрах эхо-сигналов СВЧ диапазона для разных классов и типов надводных объектов связаны с особенностями возникновения обрушивающихся волн вблизи корпусов объектов, которые зависят от принципа поддержания движущегося надводного объекта. На генерацию гидродинамических образований влияют и конструктивные особенности обводов носовых и кормовых частей, приводящие к относительному изменению параметров движения обрушивающихся частиц воды в обрушивающихся корабельных волнах.

Заключение

Исследования обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона гидродинамическими образованиями движущихся малораз-

мерных надводных объектов различного типа позволили выявить и систематизировать ряд особенностей в характеристиках отраженных сигналов.

1. Основной вклад в сигнал, отраженный гидродинамическими образованиями, вносят непосредственно примыкающие к корпусу обрушивающиеся корабельные волны и турбулентный след работающего винта на поверхности воды. Об этом свидетельствуют эксперименты: при экранировании гидродинамических образований сигнал, отраженный от них, уменьшался на величину порядка 10 дБ.

2. Для малоразмерных водоизмещающих катеров и глиссеров энергетические доплеровские спектры сигналов, отраженных обрушивающимися корабельными волнами под малыми углами места, зависят от скорости и ракурса судна. Для приближающихся катеров в большом диапазоне курсовых углов (порядка $\pm 50^\circ$ относительно $\Psi = 0^\circ$) характерно наличие в спектрах высокого уровня сигнала, отраженного от обрушивающихся корабельных волн. Их ЭПР может достигать величины порядка 10 м^2 и соизмерима с ЭПР судна. Для удаляющихся катеров упомянутых типов отражения под малыми углами места от обрушивающихся корабельных волн практически отсутствуют, вследствие затенения гидродинамических образований и брызг самой волной. В спектрах характерно наличие отражений от турбулентного следа работающего винта, которые группируются вокруг нулевой скорости. ЭПР этих отражений на порядок ниже, чем ЭПР обрушивающихся корабельных волн.

3. Для катеров на подводных крыльях уровень сигнала, отраженного от гидродинамических образований, примерно такой же, как и для водоизмещающих катеров. В случаях приближения к РЛС и удаления от нее с одной и той же скоростью форма спектров отраженных сигналов практически симметрична относительно оси абсцисс.

4. Элементарные отражатели, формирующие рассеянный сигнал от обрушиваю-

щихся корабельных волн, имеют некоторый разброс скоростей относительно скорости распространения гребня волны, которая соответствует условию стационарности картины корабельных волн.

5. Обрушивающиеся корабельные волны движущихся надводных объектов не содержат структур, фокусирующих радиоволны СВЧ диапазона.

Литература

1. Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука, 1972. – 424 с.
2. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 598 с.
3. Костюков А. А. Теория корабельных волн и волнового сопротивления. – Л.: Судпромгиз, 1959 г. – 311 с.
4. Ляпин К. К., Полянский В. А., Шишкин И. Ф. Селекция целей на фоне отражений от морской поверхности // Радиотехника. – 1974. – Т. 29, №2. – С. 76-77.
5. Луценко В. И., Хоменко С. И. Экспериментальное изучение признаков надводных целей // 5 Международ. научно-техн. конф. “Радиолокация, навигация и связь”: Тез. докл. – Воронеж. – 1999. – Т. 2. – С. 1132-1142
6. Горобец В. Н., Гутник В. Г., Кивва Ф. В и др. Особенности доплеровских спектров СВЧ сигналов, рассеянных надводными объектами и волнообразованиями от них // Распространение радиоволн в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – 1995. – С. 31-43.
7. Кириченко В. А., Луценко В. И. Повышение эффективности обнаружения надводных объектов за счет отражения от корабельных волн // Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины. – 2000. – Т. 5, №1. – С. 83-92.
8. Гутник В. Г., Кулемин Г. П., Шарапов Л. И., Горбач Н. В. Энергетические спектры радиолокационных отражений от взволнованной морской поверхности при малых углах скольжения // Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины. – 2002. – Т. 7, №3. – С. 474-483.
9. Гутник В. Г., Кулемин Г. П., Шарапов Л. И., Горошко Е. А. Интенсивность радиолокационных отражений от взволнованной морской по-

- верхности при малых углах // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, №2. – С. 181-189.
10. Дорогостойский Д. В., Жученко М. М., Мальцев Н. Я. Теория и устройство судна. – Л.: Судостроение, 1976. – 473 с.
 11. Гилмер Томас К. Проектирование современного корабля. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1984. – 376 с.

Деякі особливості зворотного розсіяння радіохвиль НВЧ діапазону гідродинамічними утвореннями надводних об'єктів

**В. Г. Гутник, В. М. Горобець,
О. В. Гутник, О. С. Курекін**

У роботі наводяться деякі експериментальні характеристики зворотного розсіяння радіохвиль Х-діапазону гідродинамічними утвореннями різних надводних об'єктів. Показано, що основний внесок у сигнал, розсіяний гідродинамічними утвореннями, спричиняється падаючими корабельними хвилями. Отримано доплерівські спектри сигналів, відбитих від різних рухомих надводних об'єктів, показано залежність спектральних характеристик від типів надводних об'єктів, їх швидкості та ракурсу.

Some Features of Microwave Backscatter by Hydrodynamic Formations of Surface Objects

**V. G. Gutnik, V. N. Gorobets,
A. V. Gutnik, and A. S. Kurekin**

Some experimental characteristics of the X-band wave backscatter by hydrodynamic formations of surface objects are considered. The ship waves falling are shown to contribute mostly to the signal scattered by hydrodynamic formations. The Doppler spectra of the signals reflected from different moving surface objects are obtained, the dependence