

Д. ф.-м. н. И. А. ВОЛОДИН, В. Н. КОСЯКИН,  
д. т. н. В. И. СЕРГЕЕВ, к. т. н. З. Н. ФЁДОРОВА,  
к. т. н. А. А. ЧАПЛЫГИН, к. ф.-м. н. Б. Н. ЧИГАРЕВ

Россия, г. Воронеж, ВКБ антенно-фидерных устройств  
E-mail: vcb-ad@vcb-ad.vrn.ru

Дата поступления в редакцию  
09.01—16.07 2007 г.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНОЙ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ОБЛУЧАЕМОМ ОБЪЕКТЕ

*Рассматриваются результаты экспериментов по двойной дифракции электромагнитной волны для определения возможности локационного обнаружения облучаемых объектов.*

При моностатической локации (например радиолокационном обнаружении — РЛО) «на просвет» (т. е. в случае когда локация производится на луче «излучатель—объект—рассеиватель») в рамках РЛО на основе эффекта параметрического поглощения [1, 2] был выявлен помеховый фактор, заключающийся в том, что, ввиду малой скорости перемещения лоцируемых объектов (сравнительно со скоростью распространения электромагнитных волн), после прохождения локационного сигнала через облучаемый объект и его рассеяния на некотором рассеивателе (например на тропосфере) такой объект не успевает выйти (в некоторых случаях) за пределы луча «рассеиватель—приемник». В этом случае возникают технические затруднения в анализе принимаемого локационного сигнала и достоверном определении наличия искомого объекта в зоне наблюдения. Следствием работ в этом направлении стали предложенные варианты использования данного помехового фактора в качестве источника требуемой информации (о наличии, координатах и векторе скорости) [3—6].

Способ локации на основе названного помехового фактора заключается в том, что в направлении предполагаемого нахождения искомого объекта излучается локационный сигнал, который дифрагирует на облучаемом объекте. Затем дифрагировавший сигнал отражается рассеивателем в направлении излучателя и вторично дифрагирует на лоцируемом объекте. Двойная дифракция (независимо от уменьшения мощности сигнала как за счет уменьшения плотности потока мощности при распространении, так и за счет рассеяния при дифракции и отражении от рассеивателя) регистрируется на приемном звене РЛС как дифракционно-интерференционная картина, изменение которой является следствием пространственного перемещения объекта. (Рассматри-

вается моностатический вариант, более точно — моностатическое РЛО, что является квазистатическим случаем именно ввиду локации «на просвет».)

Учитывая, что при использовании эффекта двойной дифракции представляется несущественным использование различных методов уменьшения эффективной площади рассеяния для снижения радиолокационной заметности, исследования в данной области (как и разработка новых алгоритмов локации) представляются крайне важными и актуальными.

Математический аппарат локации на основе двойной дифракции электромагнитной волны на облучаемом объекте приведен в [5, 6].

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование эффекта двойной дифракции для локации облучаемых объектов. В качестве имитирующих объектов использованы экраны с отверстиями.

В ходе проведенных в 2005—2006 гг. экспериментов рассматривалось обнаружение и фиксирование проявления дифракционно-интерференционной картины вследствие двойного прохождения электромагнитной волны (луча оптического диапазона) через отверстия в экране (с отражением от отражателя — зеркала). Также определялось изменение дифракционно-интерференционной картины при изменении расположения экранов относительно излучателя и отражателя (зеркала). То есть определялись пространственная конфигурация и изменение дифракционно-интерференционной картины при прохождении электромагнитной волны (в оптическом диапазоне) через отверстие в непрозрачном экране, при отражении от оптического отражателя (зеркала), при прохождении электромагнитной волны через отверстие во втором непрозрачном экране и проекции полученной дифракционно-интерференционной картины на третий (сплошной) непрозрачный экран.

Определялась возможность использования эффекта двойной дифракции для локационного обнаружения материальных объектов. Использовался бистатический вариант экспериментальной установки. Считая возможным экстраполирование результатов на один материальный объект (бистатическое расположение экранов с отверстиями имитирует одиночный объект для моностатического варианта РЛС), по изменению дифракционно-интерференционной картины в зависимости от изменения простран-

Публикуется в качестве дискуссионной.

ственного расположения экранов с отверстиями относительно излучателя и сплошного экрана (приемного звена РЛС) определялась искомая возможность. Рассматривалась как дифракция Френеля, так и дифракция Фраунгофера. При этом исключалась возможность получения регистрируемой дифракционно-интерференционной картины не за счет эффекта двойной дифракции, а вследствие фокусирующих свойств (рефлектора) излучателя. То есть при фиксации дифракционно-интерференционной картины на сплошном экране удалялись экраны с отверстиями для определения несохранения полученной картины.

Следует отметить, что в цели экспериментов не входило определение полученной интенсивности (или других энергетических параметров, например мощности) светового облучения, фиксируемого на сплошном экране. То есть рассматривалась только конфигурация (и ее изменение) пятен (в случае дифракции Фраунгофера) или колец (дифракция Френеля). Аналитические выкладки использовались для расчета ширины колец (диаметра пятен) и расстояний между ними и их изменений при изменении расположения объектов относительно излучателя, раскрывателя и приемника.

Эксперименты проводились на установке, схема которой представлена на рис. 1. Здесь 1 — излучатель (электрический фонарь); 2 — электромагнитная волна (луч света электрического фонаря); 3 — непрозрачный картонный экран (0,5×0,5 м) с отверстием диаметром 6 мм в центре; 4 — оптический отражатель (зеркало); 5 — непрозрачный картонный экран, аналогичный экрану 3; 6 — сплошной картонный экран (0,5×0,5 м);  $\alpha$  — угол падения луча 2 (от нормали) на отражатель 4.

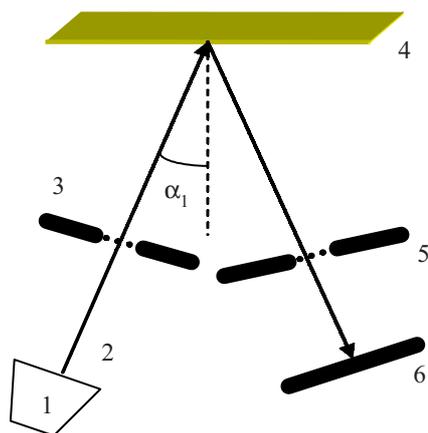


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Соответственно проведенному расчету, в результате двойной дифракции на сплошном экране должны были быть получены пятна Фраунгофера — три пятна с большими показателями мощности (интенсивности светового луча) и, далее, следующие от центрального пятна, со значениями мощности, меньшими мощности центрального пятна не менее чем на два порядка.

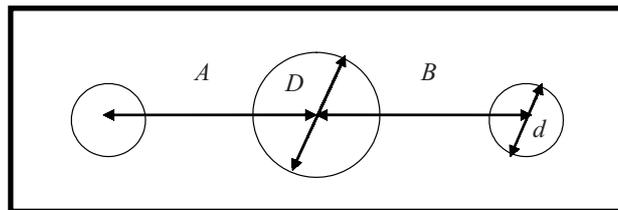


Рис. 2. Схема результата экспериментов

Таким образом, схема результата может быть представлена рис. 2. При этом в ходе экспериментов определялись следующие параметры:

$A$  — расстояние между центрами центрального и левого малого пятен Фраунгофера дифракционно-интерференционной картины на экране 6;

$B$  — расстояние между центрами центрального и правого малого пятен Фраунгофера дифракционно-интерференционной картины на экране 6;

$D$  — диаметр центрального пятна Фраунгофера;

$d$  — диаметр малого пятна Фраунгофера.

Полученные результаты экспериментов (5 вариантов различных расстояний и углов между элементами экспериментальной установки) приведены в таблице. В таблице также приведены параметры, позволяющие дополнительно анализировать, интерпретировать и дублировать полученные результаты:

$a_1$  — расстояние от излучателя 1 до экрана 3;

$b_1$  — расстояние от экрана 3 до отражателя 4;

$a_2$  — расстояние от экрана 5 до экрана 6;

$b_2$  — расстояние от отражателя 4 до экрана 5.

$\alpha, ^\circ$	$a_1, \text{мм}$	$b_1, \text{мм}$	$a_2, \text{мм}$	$b_2, \text{мм}$	$A, \text{мм}$	$B, \text{мм}$	$D, \text{мм}$	$d, \text{мм}$
45	80	150	60	150	25	25	30	20
60	80	150	60	150	70	70	30	25
32	80	150	60	150	35	35	30	25
45	150	370	60	370	25	25	35	25
45	80	80	60	80	30	30	30	20

Следует отметить, что полученные результаты хорошо коррелируют с результатами, полученными на иных экспериментальных установках и по другим методикам (в частности, при бистатическом расположении штриховых дифракционных решеток в случае работы с лазером оптического, красного диапазона частот) [7].

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что дифракционно-интерференционная картина возникает именно вследствие двойной дифракции электромагнитной волны при прохождении отверстий в непрозрачных экранах. То есть в результате экспериментов была установлена принципиальная возможность определения местоположения материальных объектов (эквивалентом которых являются два отверстия в экранах при бистатическом варианте расположения элементов экспериментальной установки) по изменению дифракционно-интерференционной картины на приемном звене локационной системы. Кроме того, полученные результаты

позволяют говорить о возможности моностатического варианта построения локационной системы с использованием эффекта двойной дифракции, что полностью соответствует современным знаниям в области дифракции.

В результате экспериментов также практически подтверждена возможность лоцирования объектов с малым значением эффективной площади рассеяния (при условии использования одинаковых способов и средств уменьшения такого значения для верхней и нижней полуплоскостей лоцируемых объектов).

Помимо изложенного, исходя из теории дифракции, имеем несущественность использования (в названных целях) непрерывного локационного сигнала. То есть для получения и анализа требуемой дифракционно-интерференционной картины возможно использование и импульсных локационных сигналов. Это позволяет предположить возможность применения в качестве локационного сигнала электромагнитных солитонов [8], что требует проведения дополнительного исследования и дополнительных экспериментальных доказательств.

В этом случае представляется вероятной возможность, во-первых, улучшения качества дифракционно-интерференционной картины (мощности принимаемого сигнала, образующего пятна Фраунгофера) и ее стабильности (с учетом дальней зоны дифракция Френеля в данном варианте не используется). Это улучшение объясняется тем, что одним из основных физических свойств солитонов является сохранение ими своей формы (и, следовательно, энергии) при распространении. Во-вторых, предполагается уменьшение вероятности ошибки при анализе полученной дифракционно-интерференционной картины и при ее изменении. Это связано с тем, что солитоны могут быть деформированы только при воздействии на них односторонними солитонами (или при изменении характеристик пространства распространения солитонов). Любые другие волновые пакеты (в том числе ординарные радиолокационные сигналы) являются условно объединенным набором волн, распространяющихся каждая со своей скоростью. (Этим объясняется изменение фронтов таких пакетов и увеличение их длительности («растяжение»), что практически отмечено не только в нелинейных диспергирующих средах, но и в нелинейных средах без дисперсии, а также в линейных средах.) Поэтому солитоны, сохраняющие свою форму и импульс (энергию), позволяют производить анализ неискаженной информации.

Таким образом, объединяя использование эффекта двойной дифракции при изменении дифракционно-интерференционной картины и применение солитонов в качестве локационных сигналов, можно

расширить фактические возможности локационных систем при относительно небольших технологических доработках уже известных устройств (как в части формирования солитонов в качестве локационных сигналов, так и в части использования фазированных антенных решеток с независимыми элементами для приема и фиксирования дифракционно-интерференционной картины и ее изменений).

Открывается возможность использовать двойную дифракцию электромагнитных волн на лоцируемом объекте в качестве источника информации о его местонахождении и — по изменению дифракционно-интерференционной картины — определять вектор скорости такого объекта. При этом необходимо применять моностатический вариант построения РЛС для использования двойной дифракции (т. к. относительно малая скорость пространственного перемещения реальных объектов не позволяет использовать бистатические РЛС).

Изменения получаемой вследствие двойной дифракции дифракционно-интерференционной картины при изменении углов падения и расстояний между объектом локации, рассеивателем и излучателем (приемником) показывают, что такие изменения характеризуют пространственное положение лоцируемого объекта и, следовательно, являются источником информации о векторе скорости объекта и о его возможных изменениях.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Пат. 2145424 РФ. Способ обнаружения объекта (варианты) / С. А. Гайворонская, В. Г. Дмитриев, В. И. Сергеев, Ю. С. Чесноков.— 2000.— Бюл. № 4.
2. Пат. 2150713 РФ. Способ определения координат объекта (варианты) / С. А. Гайворонская, В. Г. Дмитриев, В. И. Сергеев, Ю. С. Чесноков.— 2000.— Бюл. № 16.
3. Пат. 2287170 РФ. Способ обнаружения объекта (варианты) / В. А. Алексашенко, А. М. Бородин, В. Г. Дмитриев и др.— 2006.— Бюл. № 31.
4. Пат. 2296343 РФ. Способ обнаружения объекта / М. М. Башкиров, В. Г. Дмитриев, В. И. Сергеев и др.— 2007.— Бюл. № 9.
5. Сергеев В. И., Фёдорова З. Н. Способ радиолокации за счет использования двойной дифракции радиолокационного сигнала на облучаемом объекте // Радиопромышленность.— 2006.— Вып. 2.— С. 108—119.
6. Володин И. А., Дмитриев В. Г., Сергеев В. И. и др. Математический аппарат двойной дифракции электромагнитной волны на облучаемом объекте // Там же.— 2007.— Вып. 1.— С. 81—87.
7. Сосунов В. А., Гайворонская С. А., Сергеев В. И. Дифракция электромагнитных волн на объекте как информация о его местонахождении // Междунар. науч. конф. «Информационные технологии в естественных науках, экономике и образовании»: Сб. трудов.— Саратов—Энгельс: Научная книга, 2002.— С. 179—180.
8. Чаплыгин А. А. Использование солитонов как радиолокационных сигналов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиолокационная техника.— 2007.— Вып. 1.— С. 25—30.